

English translation
of WO 00/40886

1

10/520004
DTM Rec'd PCT/PTO 29 DEC 2004

Device and process for the heat insulation of at least one underwater pipe at great depth

The present invention has for its object devices and processes for the heat insulation of at least one underwater pipe at great depth.

5 The technical sector of the invention is the domain of the manufacture and assembly of an insulation system outside and around the pipes in which hot effluents, of which it is desired to limit heat losses, circulate.

10 This invention is applied more particularly to the developments of deep-sea oil fields, i.e. oil rigs installed on the open sea, in which the surface equipment is generally located on floating structures, the well heads being on the sea bed. The pipes concerned by the present invention are either links between well heads, or the part resting on the bed of the bed/surface links.

Deep-sea developments are at the present time effected at water depths reaching 1500 meters. Future developments are envisaged at depths of up to 3000 meters and more.

15 The principal application of the invention is the heat insulation of pipes or lines immersed under water and more particularly at great depth, beyond 300 meters, and conveying hot oil products of which too great a cooling would be problematic both during normal production and in the case of production being stopped.

20 In effect, in this type of application, numerous problems are raised if the temperature of the oil products decreases by a significant considerable value with respect to their production temperature which is generally beyond 60 to 80°C, while the temperature of the surrounding water, especially at great depth, may be less than 10°C. If the oil products cool for example below 30° to 60°C, for an initial temperature of 70 to 80°C, the following is generally observed:

- 25 - a considerable increase in the viscosity which then reduces the flowrate of the pipe,
- a precipitation of dissolved paraffin which then increases the viscosity of the product and of which the deposit may reduce the useful internal diameter of the pipe,
- the flocculation of the alphasenes inducing the same problems,
- the sudden, compact and massive formation of gas hydrates which precipitate at high pressure and low temperature, thus suddenly obstructing the pipe.

30 Paraffins and alphasenes remain attached to the wall and then require cleaning by scraping the inside of the pipe; on the other hand, the hydrates are still more difficult, and

THIS PAGE BLANK (USPTO)

even impossible to remove.

The function of the heat insulation of such pipes is therefore to delay cooling of the oil effluents conveyed, not only during established production for their temperature to be for example at least 40°C on arriving at the surface, for a production temperature at the entrance of the pipe of 70°C to 80°C, but also in the case of reduction or even stoppage of production in order to avoid the temperature of the effluents descending for example below 30°C in order to limit the problems mentioned above or at least allow them to be rendered reversible.

Moreover, when such pipes are to be laid at depths greater than 300 meters, the ambient pressure of at least 30 bars prevents the use of high-performance heat insulators which are encountered on land or at shallow immersion, as they all use gases of which the heat conductivity is in effect very low and whose convection is blocked by a solid, porous, cellular or fibrous material: however, the compressivity of the gases does not allow these conventional heat insulators to withstand high outer pressures.

Japanese Patent Application No. JP2176299 published on 25.10.91 might also be cited, which describes a device for insulating metallic or synthetic resin tubes for supplying hot water in buildings and of which it is desired to conserve the temperature at more than 50°C after one hour of stoppage of supply of hot water, in an ambient temperature of 13°C for example: to that end, it describes a structure comprising a tube for the circulation of hot water, which is preferably deformable to facilitate laying thereof, with a layer of porous material imbibed with paraffin to about 200% and covering it, and another layer of refractory material covering the periphery of the assembly; the use of paraffin makes it possible to have an advantageous coefficient of heat insulation although less than the heat insulators mentioned above and comprising gas, but the capacity of heat accumulation of this Japanese device is reinforced by the presence of the outer refractory layer making it possible to reduce heat loss with the advantage of being able to cut the whole of this structure at any spot in order to facilitate assembly thereof and without loss of the heat accumulation power. However, such a solution cannot be used in water, especially at great depth where it is necessary to be able to withstand a considerable outer hydrostatic pressure, while ensuring sufficient containment in order to avoid any risk of pollution and/or loss of thermal efficiency. Moreover, it does not contribute the specific characteristics described and claimed in the present invention.

Moreover, other specific types of heat insulation compatible with deep immersions

THIS PAGE BLANK (USPTO)

have rathermore been developed, which may be grouped in three families, namely:

- the outer coatings made of solid plastic such as polyurethane, polyethylene, polypropylene... but whose heat conductivity is fairly average since of the order of 0.2 to 0.3 Watt/meter/degree Celsius, which may be sufficient in continuous production but insufficient to preserve a minimum temperature for a given time in the event of stoppage of production,

- the coatings made of syntactic materials constituted by hollow balls containing a gas and resistant to the outside pressure and embedded in various binding agents such as concrete, epoxy, elastomer, polypropylene, etc...: the ones with highest performance are the syntactic materials based on epoxy binding agent and on hollow glass microspheres of fairly low conductivity and interesting since of the order of 0.10 to 0.15 watt/meter/degree Celsius, but the cost of these coatings is very high,

- the "pipe in pipes" in which a first inner tube conveying the effluents is disposed concentrically in a second tube resistant to the outside hydrostatic pressure; the annular space included between the two tubes may either be filled with heat insulator with very low heat conductivity (0.02 Watt/meter/degree Celsius) and which, in order not to be crushed, must be left at atmospheric pressure, or a vacuum may be created therein: such a solution necessitates partitions disposed longitudinally and perfectly tight, at regular intervals, for questions of safety, and complicates the construction and positioning of such assemblies which are, moreover, very expensive.

Another technique consists in prefabricating shells of syntactic foam and in assembling them around the pipe or in making a continuous coating of syntactic foam around said pipe. We would recall on this subject that the syntactic foam is constituted by hollow microspheres containing a gas and bonded by a resin generally of the epoxy type.

These deep-sea insulation technologies use very high-performance products which are extremely expensive and difficult to employ on a large scale.

In the case of installing single pipes or so-called bundles of pipes, it is generally preferred to manufacture said pipes on land in unitary lengths of 500 to 1000 m which are then pulled from the open sea with the aid of a tugboat. In the case of pipes of several kilometers, the first length is pulled, which is joined to the following, the tugboat maintaining the whole in traction during the joining phase, which may last several hours. When all the pipe or

THIS PAGE BLANK (USPTO)

bundles of pipes has been put in the water, the whole is towed, generally rubbing on the sea-bed, towards the site, where it is then placed in position.

The insulation of the pipe or pipes or of the bundle is then protected by an outer envelope which has a double function: - on the one hand that of avoiding damage which might occur during towing, which may in certain cases take place over distances of several hundreds of kilometers, which requires using fairly resistant materials such as steel, thermoplastic or thermosetting compound or a composite material; - on the other hand, that of creating a containment around the insulation system.

Such containment is necessary in the case of outer insulating coatings constituted by shells of syntactic foam assembled around the pipes, as the interstices existing between the various shells, as well as the space between the shells and the outer envelope, are filled with a virtually incompressible product, which is generally fresh water or passivated sea water or any other product compatible with the internal components.

In effect, with sea-beds of 2000 m, the hydrostatic pressure is of the order of 200 bars, or 20 Mega Pascals, which implies that all the pipes and the insulating system thereof must be capable of withstanding not only these pressures without degradation during pressurizations and depressurizations of the pipe in which the hot fluid circulates, but also the temperature cycles which will generate variations in volume of the different components as well as of the interstitial fluids, and therefore positive or negative pressures which may lead, if the outer envelope is tight, to partial or total destruction thereof either by exceeding the stresses admissible, or by implosion of this outer envelope (negative variations of internal pressure).

If said outer envelope is not tight, the assembly will then be at equal pressure with respect to the outer pressure, but this will then result in exchanges of fluids between the interior of the bundle and the outer medium. In the case of a filling of the interstices of the bundle with fresh water, passivated sea water or any other product compatible with the internal components as indicated hereinabove, as it is in that case sought to avoid fluid exchanges with the outer medium, one is led to arrange bags constituted by a supple membrane of elastomer type making it possible to contain the variations in volume by maintaining the variations in pressure at a reasonable level but these bags then complicate assembly of the insulating device and do not enable the stresses to be distributed in uniform manner.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The problem raised is therefore that of being able to produce an insulation of at least one underwater pipe intended to be laid on the sea-bed in particular at great depth, of which the insulating coating can withstand not only the hydrostatic pressure but also all the efforts associated with its own weight, and induced upon laying during which the pipe undergoes frictions and is exposed to risks of punching ; said insulating coating must make it possible to maintain for example a hot effluent such as an oil product produced for example at 60°C at the level of the sea-bed, at a temperature above for example 40°C when it arrives on the surface after a distance of several kilometers in the water, and, moreover, to maintain a temperature at more than 30°C for example even after several hours of stoppage of production, and this with manufacturing costs which are less than those of present syntactic materials, while offering various possibilities of implementation, and this without risk of pollution for the environment.

One solution to the problem raised is a device for insulating at least one underwater pipe (which may in effect be alone or assembled with other pipes, then constituting what is called "bundles"), intended to be laid on the sea-bed at great depth, comprising an insulating coating surrounding the latter and a protective envelope; according to the invention, said insulating coating comprises a virtually incompressible, liquid-solid phase change material with a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium surrounding the pipe in operation and less than that T_1 of the effluents circulating in the pipe, which protective envelope is resistant (such as to abrasion, to friction, to corrosion and to mechanical impacts) and deformable (in particular to follow the variations in volume of the phase change material under the effect of the hydrostatic pressure and/or upon variations in temperatures), ensures a containment around said insulating coating, in particular a containment around and against said insulating coating.

Said insulating coating preferably comprises an absorbent matrix surrounding the pipe, preferably nearest the outer surface of said pipe, said matrix being impregnated with said virtually incompressible material.

Said insulating coating may surround the pipe directly or indirectly. In the latter case said insulating coating may surround a pipe itself already insulated, in particular by syntactic foam.

The protective envelope, bearing on the material, solidified and rigid at least on its

THIS PAGE BLANK (USPTO)

periphery, is adapted to withstand the weight of the pipe and the frictions when the latter is laid from the surface.

More particularly, the protective envelope is deformable in order to follow the variations in volume of the insulating coating under the effect of the hydrostatic pressure and upon variations in temperature.

This envelope may present at least one gas-permeable vent so as to avoid possible accumulations of gas such as the hydrogen which might diffuse through the wall of the inner pipe, which hydrogen may be generated by the effluents circulating therein.

The object of the present invention is also achieved by a process of insulation using an insulating coating surrounding at least one underwater pipe and a protective envelope, such that:

- said pipe is surrounded, preferably directly, with an insulating coating comprising a virtually incompressible, liquid-solid phase change material with a given melting temperature T_0 , said incompressible material preferably being impregnated in an absorbant matrix, and the whole is contained in the protective envelope which must be resistant and deformable,

- there are made to circulate in said pipe hot effluents at a temperature T_1 higher than the melting temperature T_0 of the material while the ambient outside temperature T_2 is less than T_0 , the phase change material then being liquefied, preferably in a part of the impregnation matrix from the pipe up to a limit of heat exchange equilibrium between the pipe and the envelope, beyond this limit the material being solid,

- when the circulation of the effluents in the pipe is stopped, the temperature of these effluents is maintained above a given temperature T_3 for a predetermined duration thanks to the heat transfer brought by the latent heat of solidification of the material of which the liquid part solidifies progressively on cooling.

The result is a novel device and process for insulating at least one underwater pipe intended to be laid on the sea-bed in particular at great depth, avoiding the drawbacks mentioned hereinabove in the present known devices and responding to the problem raised. In effect, the outer protective envelope does not need to be resistant to the hydrostatic pressure since it bears on a virtually incompressible material.

Such materials are chosen also to be liquid/solid phase change materials with a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium surrounding the pipe in operation in order

THIS PAGE BLANK (USPTO)

that its outer part is always solid, and therefore on the one hand resistant enough to absorb the efforts transmitted by the outer protective envelope, on the other hand, contributing a better thermal inertia. Said melting temperature T_0 must also be chosen to be less than that of the effluent circulating in the pipe, so that that part of this material surrounding the pipe is

5 liquefied thanks to the calorific addition of the effluents in normal production. On the other hand, in the case of production slowing down or even in the case of stoppage thereof, said phase change material restores its calories to the effluents contained in the pipe, thanks for example to a enthalpy of fusion greater than 50 kilojoule/kilogram, which delays cooling of said effluents by as much and allows the desired objects to be achieved.

10 Moreover, the outer solid part of said phase change material limits the risks of pollution of this material in the surrounding medium since, in the event of the outer protective envelope tearing, the solidity of this part of the material maintains its integrity.

Said virtually incompressible material is chosen for its low heat conductivity, particularly less than 0.3 watt/meter/degree Celsius.

15 Said incompressible material is chosen in particular from the materials constituted by at least 90% of chemical compounds chosen from alkanes, in particular comprising a hydrocarbon chain with at least 10 carbon atoms, or salts, hydrated or not, glycols, bitumens, tars, waxes, and other fatty bodies solid at ambient temperature, such as tallow, margarine or fatty alcohols and fatty acids.

20 The incompressible material is preferably constituted by paraffin comprising a hydrocarbon chain with at least 14 carbon atoms.

The phase change materials described hereinabove generally present a considerable variation in volume during their change of state, which may attain 20% in the case of paraffins. The outer protective envelope must be able to adapt itself without damage to these

25 variations in volume.

Another object of the present invention is therefore also to produce an envelope for protecting the insulation system making it possible, on the one hand, to ensure the integrity of a bundle of pipes and of its insulation system when it is towed and installed in situ and, on the other hand, to overcome the stresses generated by the differential expansion of the various

30 components during the variations in temperature associated with the stresses due to the pressure of the sea bed.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

This object is attained by a device for the heat insulation of at least one underwater pipe comprising an insulating coating surrounding the latter and a protective envelope such as according to the present invention, the outer perimeter of the transverse section of said protective envelope is a closed curve of which the ratio of the square of the length over the surface that it defines is at least equal to 13; the protective envelope, which surrounds and ensures containment of the insulating coating, follows the outer shape thereof, and its transverse section which is therefore not circular - as has been usual to do up to the present time - is an oval, a polygon such as a rectangle, or a combination of the two.

In the case of the device comprising at least two pipes disposed in the same plane, the transverse section of said envelope is of shape elongated in the same direction as this plane.

Upon variations in internal volume, the envelope will tend to be deformed towards a circular shape, which mathematically constitutes the shape presenting, with constant perimeter, the largest section.

In the case of a tight envelope of circular profile, an increase in volume generates stresses in the wall, which are associated with the increase in pressure resulting from this increase in volume.

On the contrary, in the case of a rectangular profile, an increase in volume will principally generate flexions of the planar walls, the migration of the interstitial fluids grouping together in these zones of deformation. The efforts generated in the wall will be principally bending efforts in the thickness of the wall, the greatest bendings being produced on the large sides, insofar as the envelope presents a constant thickness over its periphery and over the whole of its length.

By way of example, a circle of diameter 1 m presents an approximate section of 0.785 m² for an approximate perimeter of 3.1416 m: a square of the same perimeter presenting an approximate section of 0.617 m², this shape offers a capacity of expansion of 21.5% when, with constant perimeter, the square shape passes to a circular shape; this square shape corresponds to a value of the ratio of the square of the length of its outer perimeter of the closed curve of the transverse section of the protective envelope, with respect to the surface that said perimeter defines, equal to 16.

Similarly, a flattened rectangular shape of which the above ratio is then greater than 16 will present, with constant perimeter, a greater theoretical capacity of expansion; in this way, a

THIS PAGE BLANK (USPTO)

rectangle with a large side measuring 1.2 m and a small side of 0.3708 m which has the same perimeter of 3.1416 m, but a section of only 0.44496 m², presents a theoretical capacity of expansion of 43.3%.

It thus appears that, the more the shape of the transverse section of the insulating coating is flattened, the better the capacity of its envelope is to absorb the expansions due to the expansion of the components under the effect of the temperature.

However, it must not be forgotten that not all of the theoretical capacity of expansion is available, as the deformation by bending of the wall will tend towards the shape of a very imperfect circle. In this way, the effective capacity of expansion is only a portion of said theoretical capacity of expansion and may then correspond to 30% or 50% depending on the quality of the material constituting the envelope, which envelope may be made of steel, thermoplastics or thermosetting compound or of composite material.

Thus, for considerable variations in volumes, profiles will advantageously be used, of which the perimeter of the transverse section of said outer envelope comprises concave reversed curvatures whose concavity is turned towards the outside of said envelope.

In the case of a profile of oval shape, a variation in internal pressure will involve a combination of bending stresses and of pure tensile stresses, as the variable curvature of the oval then behaves as an architectural vault with, however, the difference that, in the case of our envelope, the stresses are tensile stresses and not compression stresses. An oval or approximately oval shape will be thus be able to be envisaged for small capacities of expansion and it will in that case be appropriate to consider ovals with a ratio of length of the large axis ρ_{\max} over that of the small axis ρ_{\min} as high as possible, for example at least 2/1 or 3/1.

The shape of the envelope will then be selected as a function of the overall expansion sought of the volume of the insulating coating, under the effect of variations in temperature. In this way, for a system of insulation using principally materials subject to expansion, a rectangular shape, a polygonal shape or an oval shape allow an expansion by bending of the wall while inducing a minimum of tensile stresses in the outer envelope.

For a fluid presenting a great expansion under the effect of variations in temperature, such as gas oil, products of the family of alkanes (paraffins), or phase change materials, the rectangle will advantageously be flattened in order to create the necessary reserve of

THIS PAGE BLANK (USPTO)

expansion. This expansion reserve may further be increased by creating the reversed curvatures mentioned hereinabove.

Other advantages of the present invention may be cited, but those mentioned above already show sufficient to prove the novelty and interest thereof. The following description of the Figures concerns embodiments of the invention but has no limiting character: other embodiments are possible within the scope and extent of this invention, in particular by choosing a liquid/solid phase change material specific to the applications desired in terms of depth of immersion, temperature of the ambient medium, temperature of the effluents....

Figure 1 is a view in section of an insulation device according to the present invention shown here with three pipes assembled together in a bundle, but which may be adapted to a single pipe or a larger number of joined pipes.

Figures 2A and 2B show details of the phases of the process of assembly and manufacture of the insulation device according to the invention as shown in Figure 3E.

Figures 3A to 3E and 4A to 4C show different phases of an example of process of insulation according to the present invention.

Figures 5A and 5B show sections of a device according to the invention specific to the connection between two sections of pipe.

Figure 6 is a view in section of a bundle of two pipes whose insulating coating and protective envelope are of circular shape and constitute the known prior art.

Figure 7 is a view in section of an envelope of a bundle of conduits according to the invention, of square cross-section.

Figure 8 is a view in section of an envelope of polygonal cross-section.

Figure 9 is a view in section of an envelope of flattened rectangular cross-section at ambient temperature and in position of maximum expansion due to the temperature.

Figure 10 is a view in section of an envelope of oval cross-section of ratio 3/1.

Figure 11 is a view in section of an envelope of oval cross-section of ratio 2/1.

Figure 12 is a view in section of an envelope of flattened rectangular cross-section with rounded ends.

Figure 13 is a view in section of an envelope of curved cross-section presenting points of inflexion, therefore reversed curvatures.

Figure 14 is a view in section of a bundle constituted by a multiplicity of pipes, power

THIS PAGE BLANK (USPTO)

and control cables, disposed flat according to the present invention, insulated by an insulating coating and protected by a protective envelope of flattened, substantially rectangular cross-section, and comprising a lower wear plate.

Figure 15 is a view in section of a bundle according to the invention of flattened, substantially rectangular cross-section, manufactured from metal plates and presenting a welded lid.

Figure 16 is a view in section of a variant of the preceding bundle in which the lid may be either welded or assembled mechanically.

Figure 17 is a view in section of a variant of the preceding bundle in which the heat is replaced by a supple and resistant product cast in situ.

Example 1: Insulating coating based on paraffin.

As indicated hereinabove, the device for insulating at least one underwater pipe 1 intended to be laid on the sea-bed 8 at great depth, comprises in known manner an insulating coating surrounding the latter and a protective envelope 3. According to the present invention as shown in the accompanying Figures, said insulating coating is composed of a virtually incompressible liquid-solid phase change material with a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium surrounding the pipe in operation and less than that T_1 of the effluents 6 circulating in the pipe 1; which material 4 has a fairly low heat conductivity preferably less than 0.3 watt/meter/degree Celsius in solid phase and a enthalpy of fusion preferably greater than 50 kilojoules/kilogram: it is for example constituted by at least 90% of chemical compounds of the family of alkanes which are saturated hydrocarbons of general formula $C_n H_{2n+2}$ such as for example paraffins or waxes; said chemical compounds also being able to be salts, hydrated or not, glycols, bitumens, tars, fatty alcohols; the melting temperature of said material must therefore be included between the temperature T_1 of the hot effluents 6 circulating in the pipe 1 and T_2 of the medium 5 surrounding the pipe in operation, or in fact in general a melting temperature included between 20 and 80°C. Tetracosane of formula $C_{24} H_{50}$ presenting a temperature T_0 of 50.9°C is, for example, used as paraffin.

The insulating coating according to the invention is constituted by an absorbent matrix 2 surrounding the pipe 1 nearest its outer surface and impregnated with said incompressible material 4; said protective envelope 3 is resistant and deformable and ensures a containment against and around said insulating coating: this protective envelope 3, bearing on the material

THIS PAGE BLANK (USPTO)

4, solidified and rigid at least on the periphery, is adapted to support the weight of the pipe 1 and the frictions when the latter is laid from the surface.

Said protective envelope 3 is deformable to compensate at least the variations in volume of the insulating coating that it contains, on the one hand under the effect of the hydrostatic pressure and, on the other hand, upon the variations in volume of the material 4 during its phase change, in order to preserve its integrity and therefore its capacity of containment; this protective envelope 3 may to that end be made of thermoplastics material such as polyethylene or of thermosetting material or even metal, of non-cylindrical cross-section. Under the action of the outside hydrostatic pressure, this protective envelope 3, forming an outer tube, is deformed and abuts on the solidified part of the material 4 which is of virtually incompressible nature: in this way, the deformation of this protective envelope 3 remains small and the resulting stresses will also be small; consequently, the thickness of said envelope may also be small.

Said matrix 2 may be constituted by a light cellular or fibrous material such as open-cell foam, particularly polyurethane foam, glass or rock fiber, woven fabrics, felt, paper, etc...: in fact, the nature of the material constituting said matrix must be sufficiently absorbent to be compatible with the impregnation by said phase change material 4 in order to oppose the natural convection of the liquefied part 4₁ of said material; this matrix may possibly be heterogeneous in order to be compatible with the temperature gradient of the impregnation and it may occupy only a part of the volume of the annular space defined by said protective envelope 3 and said pipe 1 insofar as the outer part 4₂ of said phase change material always remains solid and is therefore not subject to heat convection movements: in that case, the limit 19 between the two liquid (4₁) and solid (4₂) parts is always included in the matrix 2.

An absorbent matrix constituted by tufted floor carpet may for example be used..

According to the example of a process for producing a device according to the invention as shown in Figures 3A to 4C:

- an obturator 7₂ is fixed, such as by continuous welding 16₁, to one end of the outer pipe wall 1 to be insulated (Figure 3);

- there are mounted on this part of pipe 1 elements of the absorbent matrix 2 which surrounds the latter completely and uniformly and there is fitted around these matrix elements 2 the outer protective envelope 3 which is connected, such as by continuous welding, at its

THIS PAGE BLANK (USPTO)

end to the obturator 7₂ (Figures 3B and 3C); according to a preferred embodiment, there are also interposed between elements of absorbent matrix 2, distance pieces 9 regularly spaced along the pipe 1 on which they abut and are adapted to centre and support the protective envelope 3;

5 - a second obturator 7₁ is positioned at the other end of the protective envelope 3, which is fixed on this envelope and on the pipe 1 such as by continuous welding 16₂ (Figure 3D);

 - in the event of distance pieces 9 having been interposed between the matrix elements 2, when all the elements of the protective envelope 3 have thus been placed in position and
10 fixed in order thus to constitute the containment envelope, straps 17 for maintaining said distance pieces 9 plumb are placed in position (Figure 4B);

 - the annular space included between the pipe 1 and the envelope 3 is completely filled, for example via one end thanks to orifices 14 made in one of the obturators 7, with said phase change material 4 liquefied and overheated above its melting temperature T₀, and this
15 until the matrix elements 2 are completely impregnated thereby. To that end, said pipe may be inclined in order to fill said phase change material 4 by the lower part of the annular space as shown in Figure 4A, which makes it possible to drive the air through vents 15 disposed in the obturator 7 opposite the one allowing filling (a vacuum may also be made before such filling);

 - in the case of distance pieces 9 and holding straps 17 having been previously
20 disposed, the annular space is filled with said liquefied material 4 under pressure in order to deform the outer envelope 3 between said straps 17; the desired elastic line corresponding to the increase in volume, or overvolume, generated by the heat expansion of the material 4, liquid at filling temperature, as shown in Figure 4B, and with respect to its volume in the solid state;

25 - the whole is cooled, and after cooling and solidification of the material 4, the latter resumes substantially its initial volume: if filling was effected under pressure as indicated previously, the outer envelope will then be substantially straight as indicated in Figure 4C, which will enable said straps 17 to be removed.

 The bodies of the obturators 7 are closed, and those of the distance pieces 9 are
30 preferable perforated to allow filling of the phase change material: these obturators and distance pieces are made of non-metallic material which is preferably hardly heat-conducting.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

As indicated in Figures 2A and 2B, said obturators may also comprise an inner ring 10 of the same material as that of the pipe 1 and an outer ring 11 of the same material as that of the outer tube 3; these two possible rings are fixed on the body of the obturator in rigid and tight manner; the one fixed on the pipe 1 may comprise a flange 10 for assisting handling.

5 The distance pieces 9 are necessary in the case of the mechanical strength of the rigid part 2₂ of the phase change material not being sufficient to support the or each pipe 1; moreover, such distance pieces 9 ensure the centering of the or each bundle of pipes in the outer envelope tube 3.

10 In the case of a pipe assembled in situ by welding or screwing previously insulated elementary sections, the areas of join then lack insulation and must be treated in situ: this insulation may for example be completed in this area by disposing a plurality of prefabricated impregnation blocks 12 fitting on one another around the join between sections, the whole being immobilized by overmoulding by a thermoplastics or thermosetting resin 13 as shown in Figures 5A and 5B.

15 Example 2: flat bundle of at least two pipes side by side.

Figure 6 is a view in section of a device for heat insulation of two underwater pipes 1 comprising an insulating coating 2 surrounding them and a protective envelope 3 containing the whole. Said insulating coating 2 is composite as in Example 1 and the perimeter 24 of the transverse section of the whole is a circle; a virtually incompressible fluid ensures integral
20 filling of the envelope 3 by filling all the interstices which might exist between said half-shells and said envelope 3; the latter, in order not to undergo considerable stresses essentially due to the variations in temperature, as explained hereinabove, in that case comprises a continuous channel 23 over the whole of its length and against its inner wall to facilitate the movements of the virtually incompressible fluid and maintain the whole under equal pressure; the
25 envelope 3 also presents either at its ends or at multiple points distributed over its length, orifices placing said fluid in contact with the outside either directly or indirectly via a supple membrane in order to avoid the mixture between the sea water and said virtually incompressible fluid.

Figure 7 is a transverse section of the device for heat insulation of the bundle
30 according to the invention in which the outer perimeter 24 of the transverse section is of square shape and protects an insulation of an insulating coating 2 composed of paraffin as

THIS PAGE BLANK (USPTO)

described in Example 1, preferably impregnated in an absorbent matrix.

Figure 8 is a section of a variant of the device of Figure 7 in which the envelope 3 is octogonal.

Figure 9 is a section of a variant of the device of Figure 7 in which the envelope 3 is rectangular and of flattened shape. Under the effect of the variations in temperature, the expansion of the insulating coating 2 is contained in the deformation of the envelope 3 which takes the shape of the profile of curve 37.

Figure 10 is a section of a variant of Figure 7 in which the envelope 3 is of oval shape, of which the ratio of length of the large axis over that of the small axis is equal to 3/1.

Figure 11 is a section of a variant of Figure 7 in which the envelope 3 is an oval of which the ratio of the large axis over the small axis is equal to 2/1.

Figure 12 is a section of a variant of Figure 7 in which the envelope 3 is of flattened rectangular shape of which the small sides 28 are convex or rounded.

Figure 14 (sic) is a section of a variant of Figure 7 in which the perimeter 24 of the transverse section of the envelope 3 comprises points of inflexion, therefore concave reversed curvatures 5 (sic) increasing the capacity of expansion.

Figure 14 is a section of a heat insulation device according to the invention of which the envelope 3 contains two pipes 1₁ for producing oil effluents, a central pipe 1₂ for injecting water and two pipes for heating the whole, pipe 1₃ serving for example to send a hot fluid from the surface support, pipe 1₄ serving for the return; a link between pipes 1₃ and 1₄ existing at the second immersed end of the bundle of pipes. These pipes 1 are surrounded by an insulating coating filled with a virtually incompressible fluid such as paraffin, as described in Example 1. The bundle of pipes is equipped on its sides with chutes 29 adapted to receive umbilicals 20, said chutes being shown single to the left, and double to the right of Figure 14.

The heat insulating device according to the invention comprises in its lower part a wear plate 11 disposed on a part of the outer perimeter 24 of the transverse section of the protective envelope 3, and preferably at least along one of the large sides of said transverse section, in that case making it possible to avoid any damage of the containment envelope 3 during the operation of towing and installation in situ: the whole resting on the sea bed 22, only the wear plate 21 rubs against the latter.

Said wear plate 21 may be made of thermoplastics material of density 1 therefore not

THIS PAGE BLANK (USPTO)

modifying the floatability of the whole during towing nor even during the life of the bundle of pipes in situ.

Figure 15 is a section of a bundle of which the protective envelope 3 comprises a lower part 3₁ in the form of an upwardly open "U" in operational position, in which are disposed said pipes 1, the insulating coating 2 and the incompressible fluid 4, said lower part 3₁ being closed by a lid 34 assembled on the latter in order to constitute the whole of the protective envelope 3; the latter is shown in substantially rectangular shape and made for example from a shaped metal sheet equipped with a lid 34 assembled by welding at 25₁, 25₂ on said envelope. The bundle contains pipes 1 and electrical heating lines 26, the whole being contained in a coating 2 supported by shims 27, disposed in the lower part of the envelope 3; said coating 2 being constituted either by an absorbent matrix impregnated with paraffin, or by syntactic foam or any other pressure-resistant insulating product; the space included between the envelope 3 and the insulating coating 2 being filled with virtually incompressible fluid 4, such as paraffin, ensuring integral filling of the inner volume of the envelope 3 which in this embodiment therefore does not follow the shape of the insulating coating 2.

Figure 16 is a variant of Figure 15 in which the envelope 3 and the lid 34 present a lip-shaped overlapping 28 located outside the principal section of the bundle, which allows an assembly to be made,

- either as shown in the left-hand side of the Figure, by bolting or riveting through regularly spaced apart holes 29, associated with the positioning of an elastomer joint 30₁ or by simple adhesion between the sheets,

- or by continuous seam welding in zone 30₂ as shown in the right-hand side of the Figure; said seam welding being known to the person skilled in the art of boiler construction, will not be described here.

In this way, in the case of mechanical assembly, of adhesion or of the combination of the two, the envelope 3 may be made of any materials such as metals, thermoplastics, thermosetting materials or composite materials.

Figure 17 is a variant of Figure 15 in which the lid is replaced by a layer 31 of supple material such as thermoplastics, thermosetting or polymerizable material, for example elastomer, which material closes the upper opening of the U-shaped lower part 3₁ of the envelope 3 and is cast in situ after complete installation of all the components of the bundle,

THIS PAGE BLANK (USPTO)

an insulating coating 2 comprising a virtually incompressible fluid 4, said insulating coating 2 being surrounded by incompressible filling fluid 4 of which the level will then be adjusted so as to allow sufficient place to ensure a sufficient thickness for the layer 31, for example 1 cm, thus allowing a sufficient adherence on the wall of the envelope 3. The contact surface is
5 shown in the right-hand part of the Figure in the form of a right angle 32, in the left-hand part an S-shape 33 of the sheet 3 increases the contact surfaces as well as the zones subjected to shear, which shear is generally preferable to tear in adhesions.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

CLAIMS

1. Device for the heat insulation of at least one underwater pipe (1) intended to be laid on the sea bed at great depth, comprising an insulating coating surrounding the latter and a protective envelope (3), characterized in that said insulating coating comprises a virtually
5 incompressible liquid/solid phase change material (4) with a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium surrounding the pipe in operation and less than that T_1 of the effluents circulating in said pipe, which protective envelope (3) is resistant and deformable and ensures a containment about said insulating coating.
2. Heat insulation device according to Claim 1, characterized in that said insulating
10 coating comprises an absorbent matrix (2) surrounding said pipe (1), preferably nearest its outer surface, and impregnated with said material (4).
3. Heat insulation device according to Claim 1 or 2, characterized in that the protective envelope (3), abutting on the material (4) which is solidified and rigid at least on its periphery, is adapted to support the weight of the pipe (1) and the frictions when the latter is laid from
15 the surface.
4. Heat insulation device according to any one of Claims 1 to 3, characterized in that the protective envelope (3) is deformable in order to follow the variations in volume of the insulating coating that it contains under the effect of the hydrostatic pressure and upon variations in temperature.
- 20 5. Heat insulation device according to any one of Claims 1 to 4, characterized in that the protective envelope (3) comprises at least one vent permeable to the gas that may diffuse though said underwater pipe (1) and generated by the effluents which circulate therein.
6. Device according to any one of Claims 2 to 5, characterized in that the matrix (2) is constituted by a light, cellular or fibrous material and said virtually incompressible material
25 (4) which impregnates it has a melting temperature (T_0) included between 20 and 80°C.
7. Device according to any one of Claims 1 to 6, characterized in that said material (4) has a thermal conductivity less than 0.3 Watt/meter/degree Celsius in solid phase and an enthalpy of fusion greater than 50 kilojoule/kilogram.
8. Insulation device according to any one of Claims 2 to 7, characterized in that said
30 matrix (2) occupies only a part of the volume of the annular space defined by said protective envelope (3) and said pipe (1).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

9. Device according to any one of Claims 1 to 8, characterized in that it comprises distance pieces (9) regularly spaced apart along the pipe (1) on which they abut and supporting the protective envelope (3).
10. Device according to any one of Claims 1 to 9, characterized in that the protective envelope (3) is made of thermoplastics material.
11. Device according to any one of Claims 1 to 10, characterized in that said virtually incompressible material (4) is constituted, to at least 90%, of chemical compounds of the family of alkanes, preferably a paraffin comprising a hydrocarbon chain with at least 10 carbon atoms.
12. Device according to Claim 11, characterized in that said virtually incompressible material (4) comprises a paraffin comprising a hydrocarbon chain with at least 14 carbon atoms.
13. Heat insulation device according to one of Claims 1 to 12, characterized in that the outer perimeter (24) of the transverse section of said protective envelope (3) is a closed curve of which the ratio of the square of the length over the surface that it defines is at least equal to 13.
14. Device according to Claim 12, characterized in that the outer shape of the transverse section of said protective envelope (3) is an oval.
15. Device according to Claim 14, characterized in that the ratio of length of the large axis over that of the small axis of the oval is at least 2.
16. Device according to Claim 13, characterized in that the outer shape of the transverse section of said protective envelope (3) is a rectangle.
17. Device according to any one of Claims 13 to 16, characterized in that it comprises at least two pipes (1) disposed along the same plane and the transverse section of said envelope (3) is of shape elongated in the same direction as this plane.
18. Device according to any one of Claims 13 to 16, characterized in that the perimeter (24) of the transverse section of said envelope (3) comprises concave reversed curvatures (35).
19. Device according to any one of Claims 13 to 18, characterized in that it comprises a wear plate (21) disposed on a part of said outer perimeter (24) of the envelope (3).
20. Device according to Claim 19 and according to any one of Claims 14 to 17, characterized in that said wear plate (21) is disposed along one of the large sides of the

THIS PAGE BLANK (USPTO)

transverse section of said envelope (3).

21. Device according to any one of Claims 13 to 20, characterized in that the ratio of the square of the length of the outer perimeter (24) of the transverse section of said protective envelope (3) on the surface that said perimeter defines is at least equal to 16.

22. Device according to any one of Claims 13 to 21, characterized in that the protective envelope (3) comprises a lower "U"-shaped part (3₁) in which are disposed said pipes (1) and a lid (34) assembled on this envelope (3).

23. Device according to Claim 22, characterized in that said lid (34) is seam-welded.

24. Device according to any one of Claims 13 to 23, characterized in that the protective envelope (3) comprises a lower "U"-shaped part (3₁) in which are disposed said pipes (1) and an upper opening closed by a layer (31) of supple material cast after installation of all the internal components.

25. Device according to any one of Claims 13 to 24, characterized in that the envelope (3) comprises shims (27) supporting the insulating coating (2), the space included between the envelope (3) and said coating (2) being filled with a virtually incompressible fluid (4).

26. Process for the heat insulation of at least one underwater pipe (1) intended to be laid on the sea-bed at great depth, using an insulating coating surrounding said pipe and a protective envelope (3), characterized in that:

- said pipe (1) is surrounded, preferably directly, with an insulating coating (2) comprising a virtually incompressible, liquid-solid phase change material (4) with a given melting temperature T_0 , said incompressible material preferably being impregnated in an absorbant matrix, and the whole is contained in the protective envelope (3) which must be resistant and deformable,

- there are made to circulate in said pipe (1) hot effluents (6) at a temperature T_1 higher than the melting temperature T_0 of said material (4) while the ambient outside temperature T_2 is less than T_0 , the phase change material (4) then being liquefied, preferably in a part of the impregnation matrix (2₁) from the pipe (1) up to a limit of heat exchange equilibrium (19) between the pipe (1) and the envelope (3), beyond this limit (19) the material being solid,

- when the circulation of the effluents (6) in the pipe (1) is stopped, the temperature of these effluents (6) is maintained above a given temperature T_3 for a predetermined duration thanks to the heat transfer brought by the latent heat of solidification of said material (4) of

THIS PAGE BLANK (USPTO)

which the liquid part (4₁) solidifies progressively on cooling.

27. Process of heat insulation according to Claim 26, characterized in that:

- an obturator (7₂) is fixed in continuous and tight manner at the end of the outer wall of pipe (1) to be insulated;

5 - there are mounted on this part of pipe (1) elements of the absorbent matrix (2) which surround the latter completely and uniformly,

- there is fitted around these matrix elements (2) the outer protective envelope (3) which is connected at its end to the obturator (7₂),

- there is positioned at the other end of the protective envelope (3) a second obturator (7₁)

10 which is fixed on this envelope and on the pipe (1),

- the annular space included between the pipe (1) and the envelope (3) is completely filled, via one end, with said phase change material (4) liquefied and overheated above its melting temperature T₀ and until the matrix elements (2) are completely impregnated with it,

- the whole is cooled.

15 28. Process of heat insulation according to Claim 27, characterized in that:

- there are interposed between absorbent matrix elements (2), distance pieces (9) regularly spaced along the pipe (1) on which they abut,

- when all the elements of the protective element (3) have been placed in position and fixed to constitute the containment envelope, straps (17) for holding said distance pieces (9) plumb are

20 placed in position,

- the annular space is then filled with said liquefied material (4) under pressure in order to deform the outer envelope (3) between said straps (17), which deformation corresponding to the increase in volume generated by the thermal expansion of the material (4) liquid at filling temperature.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Device and process for the heat insulation of at least one underwater pipe at great depth

ABSTRACT

5 The present invention relates to a device for the heat insulation of at least one
underwater pipe (1) intended to be laid on the sea bed at great depth, comprising an insulating
coating surrounding the latter and a protective envelope (3), characterized in that said
insulating coating comprises a virtually incompressible liquid/solid phase change material (4)
with a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium surrounding the pipe in
10 operation and less than that T_1 of the effluents circulating in the pipe, and said material (4)
preferably being impregnated in an absorbent matrix (2) surrounding the pipe (1), preferably
nearest its outer surface, which protective envelope (3) is resistant and deformable and ensures
a containment against and about said insulating coating.

15

THIS PAGE BLANK (USPTO)

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ :

F16L 53/00, 59/14

A1

(11) Numéro de publication internationale:

WO 00/40886

(43) Date de publication internationale:

13 juillet 2000 (13.07.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/03322

(22) Date de dépôt international: 30 décembre 1999 (30.12.99)

(30) Données relatives à la priorité:

98/16791	31 décembre 1998 (31.12.98)	FR
99/00985	26 janvier 1999 (26.01.99)	FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): BOUYGUES OFFSHORE [FR/FR]; 3, rue Stephenson, Montigny-le-Bretonneux, F-78884 Saint Quentin en Yvelines (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BAYLOT, Michel [FR/FR]; 41, avenue Beau Pin, F-13008 Marseille (FR). HALLOT, Raymond [FR/FR]; 33, boulevard Lamartine, F-13600 La Ciotat (FR). PIONETTI, Régis [FR/FR]; 38, rue Jonquières, F-75017 Paris (FR). ROCHER, Xavier [FR/FR]; 41, rue du Général-Leclerc, F-78400 Chatou (FR).

(74) Mandataire: DOMANGE, Maxime; Cabinet Beau de Loménie, 232, avenue du Prado, F-13295 Marseille Cedex 08 (FR).

(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: HEAT INSULATING DEVICE AND METHOD FOR INSULATING AT LEAST A SUBMARINE PIPELINE AT GREAT DEPTH

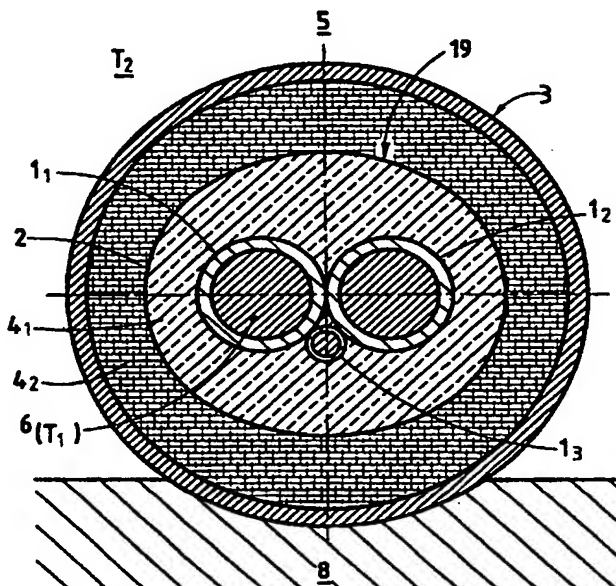
(54) Titre: DISPOSITIF ET PROCÉDE THERMIQUE D'ISOLATION D'AU MOINS UNE CONDUITE SOUS-MARINE A GRANDE PROFONDEUR

(57) Abstract

The invention concerns a heat insulating device for at least a submarine pipeline (1) designed to be laid on the seafloor at great depth, comprising an insulating coating enclosing it and protective sheath. The invention is characterised in that said insulating coating comprising a quasi-incompressible material (4) with liquid-solid phase change at a melting temperature T_0 higher than that T_2 of the medium around the pipeline (1) when it is in operation and lower than that T_1 of the effluents circulating in the pipeline, and said material (4) being preferably impregnated in an absorbent matrix (2) enclosing the pipeline (1), preferably closest to its outer surface, which protective sheath (3) is resistant and deformable, and ensures confinement against and around said insulating coating.

(57) Abrégé

La présente invention a pour objet un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine (1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant une revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection (3), caractérisé en ce que ledit revêtement isolant comprenant un matériau quasi incompressible (4) à changement de phase liquide-solide à une température de fusion T_0 supérieure à celle T_2 du milieu environnant la conduite (1) en opération et inférieure à celle T_1 des effluents circulant dans la conduite, et ledit matériau (4) étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante (2) entourant la conduite (1), de préférence au plus près de sa surface extérieure, laquelle enveloppe de protection (3) est résistante et déformable et assure un confinement contre et autour dudit revêtement isolant.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

Dispositif et procédé thermique d'isolation d'au moins une conduite sous-marine à grande profondeur

La présente invention a pour objet des dispositifs et procédés
5 d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine à grande
profondeur.

Le secteur technique de l'invention est le domaine de la fabrication et
du montage de système d'isolation à l'extérieur et autour des conduits dans
lesquels circulent des effluents chauds dont on veut limiter les déperditions
10 de chaleur.

Cette invention s'applique plus particulièrement aux développements
de champs pétroliers en mer profonde, c'est à dire des installations
pétrolières installées en pleine mer, dans lesquelles les équipements de
surface sont en général situés sur des structures flottantes, les têtes de puits
15 étant au fond de la mer. Les conduites concernées par la présente invention
étant soit des liaisons entre têtes de puits, soit la partie reposant sur le fond
des liaisons fond surface.

Les développements en mer profonde sont effectués par des
profondeurs d'eau atteignant actuellement 1500 m. Les développements
20 futurs sont envisagés par des profondeurs d'eau jusqu'à 3000m et au-delà.

L'application principale de l'invention est l'isolation thermique de
conduites ou canalisations immergées, sous-marines ou subaquatiques, et
plus particulièrement à grande profondeur au-delà de 300 mètres, et
véhiculant des produits pétroliers chauds dont un trop grand
25 refroidissement serait problématique aussi bien en régime de production
normale qu'en cas d'arrêt de production.

En effet dans ce type d'applications, de nombreux problèmes se
posent si la température des produits pétroliers diminue d'une valeur
significative importante par rapport à leur température de production qui
30 est en général au-delà de 60 à 80°C alors que la température de l'eau
environnante surtout à grande profondeur peut être inférieure à 10°C. Si les
produits pétroliers se refroidissent par exemple en dessous de 30° à 60°C
pour une température initiale de 70 à 80°C on observe en général :

- une forte augmentation de la viscosité qui diminue alors le débit de la conduite,

- une précipitation de paraffine dissoute qui augmente alors la viscosité du produit et dont le dépôt peut diminuer le diamètre intérieur utile de la conduite,

- la floculation des alphaltènes induisant les mêmes problèmes,

- la formation soudaine, compacte et massive d'hydrates de gaz qui précipitent à forte pression et faible température, obstruant ainsi brusquement la conduite.

10 Paraffines et alphaltènes restent accrochés à la paroi et nécessitent alors un nettoyage par raclage de l'intérieur de la conduite ; par contre les hydrates sont encore plus difficile voire même impossible à enlever.

L'isolation thermique de telles conduites a donc pour fonction de retarder le refroidissement des effluents pétroliers véhiculés non seulement en régime de production établi pour que leur température soit par exemple d'au moins 40°C en arrivant en surface, pour une température de production à l'entrée de la conduite de 70°C à 80°C mais également en cas de diminution ou même d'arrêt de la production afin d'éviter que la température des effluents descendent par exemple en dessous de 30°C afin de limiter les problèmes ci-dessus ou tout au moins de permettre de les rendre réversibles.

20 Quand, de plus, de telles conduites doivent être posées de plus à des profondeurs supérieures à 300 mètres la pression ambiante d'au moins 30 bars interdit l'emploi des calorifuges performants que l'on rencontre à terre ou à faible immersion, car ils utilisent tous des gaz dont la conductivité thermique est en effet très faible et dont la convection est bloquée par un matériau solide poreux, cellulaire ou fibreux : la compressivité des gaz ne permet pas cependant à ces calorifuges classiques de supporter des pressions extérieures élevées.

30 On pourrait également citer la demande de brevet japonaise publiée le 25/10/91 n° JP2176299 qui décrit un dispositif d'isolation pour tube en métal ou en résine synthétique pour la fourniture d'eau chaude dans des bâtiments et dont on veut conserver la température à plus de 50°C après

une heure d'arrêt de fourniture en eau chaude, dans une température ambiante de 13°C par exemple : il est décrit pour cela une structure comprenant le tube de circulation de l'eau chaude, qui est de préférence déformable pour en faciliter la pose, avec une couche de matériau poreux imbibée à 200 % environ de paraffine et le recouvrant, et une autre couche en matière réfractaire couvrant la périphérie de l'ensemble ; l'utilisation de la paraffine permet d'avoir un coefficient d'isolation thermique intéressant bien que plus faible que les calorifuges cités ci-dessus et comportant du gaz, mais la capacité d'accumulation thermique de ce dispositif japonais est renforcée par la présence de la couche réfractaire extérieure permettant de réduire la perte thermique avec l'avantage de pouvoir couper l'ensemble de cette structure en n'importe quel endroit pour en faciliter le montage et sans perte du pouvoir d'accumulation thermique. Une telle solution n'est cependant pas utilisable dans de l'eau surtout à grande profondeur où il faut pouvoir résister à une pression hydrostatique extérieure importante, tout en assurant un confinement suffisant pour éviter tout risque de pollution et/ou de perte d'efficacité thermique. De plus, elle n'apporte pas les caractéristiques spécifiques décrites et revendiquées dans la présente invention.

Du reste, il a été plutôt développé d'autres types d'isolation thermique spécifiques et compatibles avec de fortes immersions et que l'on peut regrouper en trois familles, à savoir :

- les revêtements extérieurs en plastique massif tel qu'en polyuréthane, polyéthylène, polypropylène... mais dont la conductivité thermique est assez moyenne puisque de l'ordre de 0,2 à 0,3 Watt/mètre/degré Celsius, ce qui peut être suffisant en fonctionnement continu de production mais insuffisant pour préserver une température minimum pendant un temps donné en cas d'arrêt de production,

- les revêtements en matériaux syntactiques constitués de billes creuses contenant un gaz et résistantes à la pression extérieure et noyées dans des liants variés tels que béton, époxy, élastomère, polypropylène etc... : les plus performants sont les matériaux syntactiques à base de liant époxy et de microsphères de verre creuses de conductibilité assez faible et

intéressante puisque de l'ordre de 0,10 à 0,15 watt/mètre/degré Celsius mais le prix de ces revêtements est très élevé,

- les « pipe en pipe » dans lesquels un premier tube intérieur véhiculant les effluents est disposé concentriquement dans un deuxième tube résistant à la pression hydrostatique extérieure ; l'espace annulaire compris entre les deux tubes peut être, soit rempli de calorifuge à très faible conductivité thermique (0,02 Watt/mètre/degré Celsius) et qui pour ne pas s'écraser doit être laissé à pression atmosphérique, soit mis sous vide : une telle solution nécessite des cloisons disposées longitudinalement et parfaitement étanches, à intervalles réguliers, pour des questions de sécurité, et complique la construction et la mise en place de tels ensembles qui sont de plus très coûteux.

Une autre technique consiste à préfabriquer des coquilles en mousse syntactique et à les assembler autour de la conduite ou encore à réaliser un enrobage continu de mousse syntactique autour de ladite conduite. Nous rappelons à ce sujet que la mousse syntactique est constituée de microsphères creuses contenant un gaz et liées par une résine en général du type époxy.

Ces technologies d'isolation pour les grands fonds utilisent des produits de très hautes performances extrêmement coûteux et difficiles à mettre en œuvre sur une échelle importante.

Dans le cas de l'installation de conduites uniques ou de faisceaux de conduites (appelées "bundles"), on préfère en général préfabriquer les dites conduites à terre en longueurs unitaires de 500 à 1000 m que l'on tire ensuite depuis le large à l'aide d'un remorqueur. Dans le cas de conduites de plusieurs kilomètres, on tire la première longueur que l'on raboute à la suivante, le remorqueur maintenant l'ensemble en traction pendant la phase de raboutage, laquelle peut durer plusieurs heures. Lorsque l'intégralité de la conduite ou du faisceau de conduites a été mise à l'eau, l'ensemble est remorqué, frottant en général sur le fond, vers le site, où il est alors mis en place.

L'isolation de la ou des conduites ou du "bundle" est alors protégée par une enveloppe extérieure qui a une double fonction : - d'une part

d'éviter les endommagements qui pourraient se produire lors du remorquage, lequel peut dans certains cas se faire sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres ce qui nécessite d'utiliser des matériaux assez résistant tels qu'en acier, en composé thermoplastique ou thermodurcissable ou encore en matériau composite ; - d'autre part de créer un confinement autour du système d'isolation.

Ce confinement est nécessaire dans le cas de revêtements extérieurs isolant constitués de coquilles de mousse syntactique assemblées autour des conduites, car les interstices existant entre les diverses coquilles, ainsi que l'espace entre les coquilles et l'enveloppe externe sont remplis d'un produit quasiment incompressible, lequel est en général de l'eau douce ou de l'eau de mer passivée, ou encore tout autre produit compatible avec les composants internes.

En effet, par des fonds de 2000 m, la pression hydrostatique est de l'ordre de 200 bars, soit 20 Méga Pascals, ce qui implique que l'ensemble des conduites et de son système isolant doit être capable de résister non seulement à ces pressions sans dégradation lors des pressurisations et dépressurisations de la conduite dans laquelle circule le fluide chaud, mais encore aux cycles de température lesquels engendreront des variations de volume des différents composants ainsi que des fluides interstitiels, et donc de pression positives ou négatives pouvant conduire si l'enveloppe externe est étanche à sa destruction partielle ou totale soit par dépassement des contraintes admissibles, soit par implosion de cette enveloppe externe (variations de pression interne négatives).

Si ladite enveloppe externe n'est pas étanche, l'ensemble sera alors en équipression par rapport à la pression extérieure, mais il en résultera alors des échanges de fluides entre l'intérieur du "bundle" et le milieu extérieur. Dans le cas d'un remplissage des interstices du "bundle" à l'eau douce, à l'eau de mer passivée, ou encore tout autre produit compatible avec les composants internes comme indiqué ci-dessus, du fait que l'on cherche alors à éviter les échanges de fluide avec le milieu extérieur, on est amené à disposer des poches constituées d'une membrane souple de type élastomère permettant de contenir les variations de volume en maintenant les

variations de pression à un niveau raisonnable mais ces poches compliquent alors l'assemblage du dispositif isolant et ne permettent pas de répartir les contraintes d'une manière uniforme.

Le problème posé est donc de pouvoir réaliser une isolation d'au
5 moins une conduite sous marine destinée à être posée sur le fond en particulier à grande profondeur, dont le revêtement isolant puisse résister non seulement à la pression hydrostatique mais également à tous les efforts liés à son poids propre, et induits lors de la pose au cours de laquelle la conduite subit des frottements et est exposée à des risques de poinçonnage
10 ; ledit revêtement isolant doit permettre de maintenir par exemple un effluent chaud tel qu'un produit pétrolier produit à, par exemple 60°C au niveau du fond à une température au-dessus de, par exemple 40°C quand il arrive en surface après un parcours de plusieurs kilomètres dans l'eau, et de plus maintenir une température à plus de, par exemple 30°C même après
15 plusieurs heures d'arrêt de production, et cela avec un coût de fabrication qui soit inférieur à celui des matériaux syntactiques actuels tout en offrant diverses possibilités de mise en oeuvre, et cela sans risque de pollution pour l'environnement.

Une solution au problème posé est un dispositif d'isolation d'au
20 moins une conduite sous marine (qui peut être en effet seule ou assemblée avec d'autres conduites, constituant alors ce que l'on appelle des « bundles » ou des « faisceaux »), destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant un revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection ; selon l'invention ledit revêtement isolant
25 comprend un matériau quasi incompressible à changement de phase liquide-solide à une température de fusion T_0 supérieure à celle T_2 du milieu environnant la conduite en opération et inférieure à celle T_1 des effluents circulant dans la conduite, laquelle enveloppe de protection est résistante (tel qu'à l'abrasion, aux frottements, à la corrosion et aux impacts
30 mécaniques) et déformable (notamment pour suivre les variations de volume du matériau à changement de phase sous l'effet de la pression hydrostatique et/ou lors des variations de températures), assure un

confinement autour dudit revêtement isolant, notamment un confinement autour et contre dudit revêtement isolant.

De préférence, ledit revêtement isolant comprend une matrice absorbante entourant la conduite, de préférence au plus près de la surface
5 extérieure de ladite conduite, ladite matrice étant imprégnée dudit matériau quasi-incompressible.

Ledit revêtement isolant peut entourer directement la conduite, ou indirectement. Dans ce dernier cas ledit revêtement isolant peut entourer une conduite elle-même déjà isolée, notamment par de la mousse
10 syntactique.

L'enveloppe de protection, s'appuyant sur le matériau solidifié et rigide au moins à sa périphérie, est apte à supporter le poids de la conduite et les frottements lors de la pose de celle ci depuis la surface.

Plus particulièrement, l'enveloppe de protection est déformable pour
15 suivre les variations de volume du revêtement isolant sous l'effet de la pression hydrostatique et lors des variations de température.

Cette enveloppe peut présenter au moins un évent perméable au gaz de manière à éviter les éventuelles accumulations de gaz tel que l'hydrogène ayant pu diffuser à travers la paroi de la conduite interne, lequel hydrogène
20 peut être engendré par les effluents qui y circulent.

L'objectif de la présente invention est également atteint par un procédé d'isolation utilisant un revêtement isolant entourant au moins une conduite sous-marine et une enveloppe de protection, tel que :

- on entoure ladite conduite, de préférence directement, avec un
25 revêtement isolant comprenant un matériau quasi incompressible et à changement de phase liquide-solide à une température de fusion T_0 donnée, ledit matériau incompressible étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante, et on confine l'ensemble dans l'enveloppe de protection qui doit être résistante et déformable,
- 30 - on fait circuler dans ladite conduite des effluents chauds à une température T_1 supérieure à la température de fusion T_0 du matériau alors que la température T_2 ambiante extérieure est inférieure à T_0 , le matériau à changement de phase étant alors liquéfiée, de préférence dans

une partie de la matrice d'imprégnation depuis la conduite jusqu'à une limite d'équilibre d'échange thermique entre la conduite et l'enveloppe, au-delà de cette limite le matériau étant solide,

- quand on arrête la circulation des effluents dans la conduite on
5 maintient la température de ces effluents est maintenue au-dessus d'une température T_3 donnée pendant une durée prédéterminée grâce au transfert calorifique apporté par la chaleur latente de solidification du matériau dont la partie liquide se solidifie progressivement en se refroidissant.

Le résultat est un nouveau dispositif et procédé d'isolation d'au
10 moins une conduite sous-marine destinée à être posée sur le fond en particulier à grandes profondeurs, évitant les inconvénients cités précédemment dans les dispositifs actuels et répondant au problème posé. En effet, l'enveloppe de protection extérieure n'a pas besoin d'être résistante à la pression hydrostatique puisqu'elle s'appuie sur un matériau
15 quasi incompressible.

De tels matériaux sont choisis pour être également à changement de phase liquide/solide à une température de fusion T_0 supérieure à celle T_2 du milieu environnant la conduite en opération afin que sa partie extérieure soit toujours solide, et donc d'une part assez résistante pour absorber les
20 efforts transmis par l'enveloppe de protection extérieure, d'autre part apportant une meilleure inertie thermique. Ladite température de fusion T_0 doit être également choisie pour être inférieure à celle de l'effluent circulant dans la conduite, de telle façon que la partie de ce matériau entourant la conduite soit liquéfiée grâce à l'apport calorifique des effluents
25 en régime de production normale. En revanche, en cas de ralentissement de la production ou même en cas d'arrêt, de celle-ci, ledit matériau à changement de phase restitue ses calories aux effluents contenus dans la conduite, grâce par exemple à une enthalpie de fusion supérieure à 50 kilojoule/kilogramme, ce qui retarde d'autant plus le refroidissement
30 desdits effluents et permet d'atteindre les objectifs recherchés.

De plus, la partie solide extérieure dudit matériau à changement de phase limite les risques de pollution de ce matériau dans le milieu

environnant puisqu'en cas de déchirure de l'enveloppe de protection extérieure, la solidité de cette partie du matériau maintient son intégrité.

Ledit matériau quasi-incompressible est choisi pour sa faible conductivité thermique, notamment inférieure à 0,3 watt/mètre/degré
5 Celsius.

Ledit matériau incompressible est choisi notamment parmi les matériaux constitués d'au moins 90 % de composés chimiques choisis parmi les alcanes, notamment comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 10 atomes de carbone, ou encore les sels hydratés ou pas, les glycols, les
10 bitumes, les goudrons, les cires, et autres corps gras solides à température ambiante, tels que le suif, la margarine ou les alcools gras et acides gras.

De préférence, le matériau incompressible est constitué de paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 14 atomes de carbone.

Les matériaux à changement de phase décrits précédemment
15 présentent généralement une variation volumique importante lors de leur changement d'état, pouvant atteindre 20 % dans le cas des paraffines. L'enveloppe extérieure de protection doit pouvoir s'accommoder sans dommage de ces variations de volume.

Un autre objectif de la présente invention est donc aussi de réaliser
20 une enveloppe de protection du système d'isolation permettant, d'une part d'assurer l'intégrité d'un faisceau de conduites et de son système d'isolation lors de son remorquage et de son installation sur site et, d'autre part de s'affranchir des contraintes engendrées par la dilatation différentielle des divers composants lors des variations de température, associées aux
25 contraintes dues à la pression du fond de la mer.

Cet objectif est atteint par un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous marine comportant un revêtement isolant entourant celle ci et une enveloppe de protection tel que suivant la présente invention, le périmètre extérieur de la section transversale de ladite
30 enveloppe de protection est une courbe fermée dont le rapport du carré de la longueur sur la surface qu'elle délimite est au moins égal à 13 ; l'enveloppe de protection, qui entoure et assure le confinement du revêtement isolant, épouse la forme extérieure de celui ci, et sa section

transversale qui n'est donc pas circulaire - comme il est d'usage de le faire jusqu'à ce jour - est un ovale, un polygone tel qu'un rectangle, ou encore une combinaison des deux.

Dans le cas où le dispositif comporte au moins deux conduites
5 disposées suivant un même plan, la section transversale de ladite enveloppe est de forme allongée dans la même direction que ce plan.

Lors des variations de volume interne, l'enveloppe aura tendance à se déformer vers une forme circulaire, laquelle constitue mathématiquement la forme présentant, à périmètre constant, la section la plus importante.

10 Dans le cas d'une enveloppe étanche à profil circulaire, une augmentation de volume engendre des contraintes dans la paroi, lesquelles sont liées à l'augmentation de pression résultante de cette augmentation de volume.

Par contre dans le cas d'un profil rectangulaire une augmentation de
15 volume engendrera principalement des flexions des parois planes, la migration des fluides interstitiels se regroupant dans ces zones de déformation. Les efforts engendrés dans la paroi seront principalement des efforts de flexion dans l'épaisseur de la paroi, les fléchissements les plus importants se produisant sur les grands côtés, dans la mesure où
20 l'enveloppe présente une épaisseur constante sur son pourtour et sur toute sa longueur.

A titre d'exemple, un cercle de diamètre 1 m possède une section
approchée de $0,785 \text{ m}^2$ pour un périmètre approché de 3,1416 m : un carré
de même périmètre présentant une section approchée de $0,617 \text{ m}^2$, cette
25 forme offre une capacité d'expansion de 21,5% lorsque l'on passe, à périmètre constant, d'une forme carrée à une forme circulaire ; cette forme carrée correspond à une valeur du rapport du carré de la longueur de son périmètre extérieur de la courbe fermée de la section transversale de l'enveloppe de protection sur la surface que délimite ledit périmètre, égal à
30 16.

De même, une forme rectangulaire aplatie dont le rapport ci dessus est alors supérieur à 16 présentera, à périmètre constant, une plus grande capacité théorique d'expansion ; ainsi, un rectangle de 1,2 m de grand côté

et de 0,3708 m de petit côté qui a le même périmètre de 3,1416 m, mais une section de seulement 0,44496 m², présente une capacité théorique d'expansion de 43,3%.

Il apparaît ainsi que plus on aplatit la forme de la section transversal
5 du revêtement isolant, meilleure est la capacité de son enveloppe à absorber les expansions dues à la dilatation des composants sous l'effet de la température.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que l'on ne dispose pas de l'intégralité de la capacité théorique d'expansion car la déformation par
10 flexion de la paroi tendra vers la forme d'un cercle très imparfait. Ainsi la capacité effective d'expansion n'est qu'une portion de ladite capacité théorique d'expansion et peut alors correspondre à 30% ou 50% selon la qualité du matériau constituant l'enveloppe, laquelle enveloppe peut être en acier, en composé thermoplastique ou thermodurcissable ou encore en
15 matériau composite.

Ainsi, pour d'importantes variations de volumes, on utilisera avantageusement des profils dont le périmètre de la section transversal de ladite enveloppe extérieure comporte des contre courbures concaves dont la concavité est tournée vers l'extérieur de ladite enveloppe.

20 Dans le cas de profil de forme ovale, une variation de pression interne impliquera une combinaison de contraintes de flexion et de contraintes de traction pure, car la courbure variable de l'ovale se comporte alors comme une voûte architecturale avec cependant la différence que dans le cas de notre enveloppe, les contraintes sont des contraintes de traction et
25 non des contraintes de compression. Ainsi, une forme ovale ou approchée d'une ovale sera envisageable pour de faibles capacités d'expansion et il conviendra de considérer alors des ovales avec un rapport de longueur du grand axe ρ_{\max} sur celle du petit axe ρ_{\min} aussi élevé que possible par exemple au moins 2/1 ou 3/1.

30 On sélectionnera alors la forme de l'enveloppe en fonction de l'expansion globale recherchée du volume du revêtement isolant, sous l'effet de variations de température. Ainsi, pour un système d'isolation utilisant principalement des matériaux sujets à expansion, une forme

rectangulaire, une forme polygonale ou encore une forme ovale permettent une expansion par flexion de la paroi tout en induisant un minimum de contraintes de traction dans l'enveloppe extérieure.

Pour un fluide présentant une grande expansion sous l'effet de variations de température, tel que du gazole, des produits de la famille des alcanes (paraffines), ou encore des matériaux à changement de phase, on aplatira avantageusement le rectangle pour créer la réserve d'expansion nécessaire. On peut encore augmenter cette réserve d'expansion en créant les contre-courbures précédemment mentionnées.

On pourrait citer d'autres avantages à la présente invention mais ceux cités ci-dessus en montrent déjà suffisamment pour en prouver la nouveauté et l'intérêt. La description des figures ci-après concerne des exemples de réalisation de l'invention mais n'a aucun caractère limitatif: d'autres réalisations sont possibles dans le cadre de la portée et de l'étendue de cette invention, en particulier en choisissant un matériau à changement de phase liquide/solide spécifique aux applications souhaités en terme de profondeur d'immersion, de température du milieu environnant, de température des effluents...

Le figure 1 est une vue en coupe d'un dispositif d'isolation suivant la présente invention représenté ici avec trois conduites rassemblées en faisceau ou « bundle » mais qui peut être adapté à une seule conduite ou à un nombre supérieur de conduites réunies.

Les figures 2A et 2B représentent des détails des phases du procédé de montage et de fabrication du dispositif d'isolation selon l'invention tel que représenté sur la figure 3E.

Les figures 3A à 3E et 4A à 4C représentent différentes phases d'un exemple de procédé d'isolation suivant la présente invention.

Les figures 5A et 5B représentent des coupes d'un dispositif selon l'invention spécifique au raccordement entre deux tronçons de conduite.

La figure 6 est une vue en coupe d'un faisceau de deux conduites ou "bundle" dont le revêtement isolant et l'enveloppe de protection sont de forme circulaire et constituent l'art antérieur connu.

La figure 7 est une vue en coupe d'une enveloppe de faisceau de conduites selon l'invention, de section carrée,

La figure 8 est une vue en coupe d'une enveloppe de section polygonale.

5 La figure 9 est une vue en coupe d'une enveloppe de section rectangulaire aplatie à la température ambiante et en position d'expansion maximale due à la température.

La figure 10 est une vue en coupe d'une enveloppe de section ovale de rapport 3/1.

10 la figure 11 est une vue en coupe d'une enveloppe de section ovale de rapport 2/1.

La figure 12 est une vue en coupe d'une enveloppe de section rectangulaire aplatie avec les extrémités arrondies.

La figure 13 est une vue en coupe d'une enveloppe de section courbe
15 présentant des points d'inflexion, donc des contre courbures.

La figure 14 est une vue en coupe d'un faisceau constitué d'une multiplicité de conduites, de câbles de puissance et de contrôle, disposés à plat suivant la présente invention, isolés par un revêtement isolant et protégés par une enveloppe de protection de section sensiblement
20 rectangulaire et aplatie, et comportant une plaque d'usure inférieure.

La figure 15 est une vue en coupe d'un "bundle" selon l'invention de section sensiblement rectangulaire et aplatie, fabriqué à partir de plaques métalliques et présentant un couvercle soudé.

La figure 16 est une vue en coupe d'une variante du "bundle"
25 précédent dans laquelle le couvercle peut être soit soudé, soit assemblé mécaniquement.

La figure 17 est une vue en coupe d'une variante du bundle précédent dans laquelle le couvercle est remplacé par un produit souple et résistant coulé en place.

30 Exemple 1 : Revêtement isolant à base de paraffine.

Comme indiqué précédemment, le dispositif d'isolation d'au moins une conduite sous-marine 1 destinée à être posée sur le fond 8 de la mer à grande profondeur, comporte d'une manière connue un revêtement isolant

entourant celle ci et une enveloppe de protection 3. Suivant la présente invention tel que représenté sur les figures jointes, ledit revêtement isolant est composé d'un matériau quasi incompressible 4 à changement de phase liquide-solide à une température de fusion T_0 supérieur à celle T_2 du milieu
5 environnant la conduite en opération et inférieure à celle T_1 des effluents 6 circulant dans la conduite 1 ; lequel matériau 4 a une conductivité thermique assez faible de préférence inférieure à 0,3 watt/mètre/deg Celsius en phase solide et une enthalpie de fusion de préférence supérieure à 50 kilojoules/kilogramme : il est par exemple constitué d'au moins 90 %
10 de composés chimiques de la famille des alcanes qui sont des hydrocarbures saturés de formule générale $C_n H_{2n+2}$ tels que par exemple des paraffines ou des cires ; lesdits composés chimiques pouvant être aussi des sels hydratés ou non, des glycols, des bitumes, des goudrons, des alcools gras ; la température de fusion dudit matériau doit donc être comprise entre les
15 températures T_1 des effluents 6 chauds circulant dans la conduite 1 et T_2 du milieu environnant 5 la conduite en opération, soit en fait en général une température de fusion comprise entre 20 et 80°C. On utilise par exemple comme paraffine du tetracosane de formule $C_{24} H_{50}$ présentant une température T_0 de 50,9°C.

20 Le revêtement isolant selon l'invention est constitué d'une matrice 2 absorbante entourant la conduite 1 au plus près de sa surface extérieure et imprégnée dudit matériau incompressible 4 ; ladite enveloppe de protection 3 est résistante et déformable et assure un confinement contre et autour dudit revêtement isolant : cette enveloppe de protection 3, s'appuyant sur
25 le matériau 4 solidifié et rigide au moins en périphérie, est apte à supporter le poids de la conduite 1 et les frottements lors de la pose de celle-ci depuis la surface.

Ladite enveloppe de protection 3 est déformable pour compenser au moins les variations de volume du revêtement isolant qu'elle confine, d'une
30 part sous l'effet de la pression hydrostatique et d'autre part lors des variations de volume du matériau 4 lors de son changement de phase, afin de préserver son intégrité et donc sa capacité de confinement ; cette enveloppe de protection 3 peut être pour cela en matériau thermo plastique

tel qu'en polyéthylène ou en matériau thermodurcissable, ou même métallique de section non cylindrique. Sous l'action de la pression extérieure hydrostatique, cette enveloppe de protection 3, formant un tube extérieur se déforme et vient prendre appui sur la partie solidifiée du matériau 4 qui est de nature quasiment incompressible : ainsi la déformation de cette enveloppe de protection 3 reste faible et les contraintes qui en résultent seront-elles aussi faibles ; en conséquence l'épaisseur de ladite enveloppe peut également être faible.

Ladite matrice 2 peut être constituée d'un matériau léger cellulaire ou fibreux tel que de la mousse à cellules ouvertes, notamment de la mousse de polyuréthane, de la fibre de verre ou de roche, du tissu, du feutre, du papier etc... : en fait la nature du matériau constituant ladite matrice doit être suffisamment absorbante pour être compatible avec l'imprégnation par ledit matériau 4 à changement de phase afin de s'opposer à la convection naturelle de la partie liquéfiée 4₁ dudit matériau ; cette matrice peut être éventuellement hétérogène pour être compatible avec le gradient de température de l'imprégnation et elle peut n'occuper qu'une partie du volume de l'espace annulaire délimité par ladite enveloppe de protection 3 et ladite conduite 1 dans la mesure où la partie extérieure 4₂ dudit matériau à changement de phase reste toujours solide et n'est donc pas sujet à des mouvements de convection thermique : en ce cas la limite 19 entre les deux parties liquide 4₁ et solide 4₂ est toujours comprise dans la matrice 2.

On utilise par exemple une matrice absorbante constituée par de la moquette aiguilletée.

Suivant l'exemple d'un procédé de réalisation d'un dispositif selon l'invention tel que représenté sur les figures 3A à 4C :

- on fixe, tel que par soudage 16₁ d'une manière continue, un obturateur 7₂ à une extrémité de la paroi extérieure de conduite 1 à isoler (figure 3),
- on monte sur cette partie de conduite 1 des éléments de la matrice 2 absorbante qui entoure celle-ci complètement et uniformément et on enfile autour de ces éléments de matrice 2 l'enveloppe extérieure de protection 3 que l'on solidarise, tel que par soudage d'une manière

continue, à son extrémité à l'obturateur 7₂ (figures 3B et 3C) ; suivant un mode préférentiel de réalisation on intercale également entre des éléments de matrice 2 absorbante, des entretoises 9 régulièrement espacées le long de la conduite 1 sur laquelle elles s'appuient et aptes à centrer et supporter l'enveloppe de protection 3,

- on positionne à l'autre extrémité de l'enveloppe de protection 3 un deuxième obturateur 7₁ que l'on fixe sur cette enveloppe et sur la conduite 1 tel que pas soudage 16₂ d'une manière continue (figure 3D),

- dans le cas où on a intercalé des entretoises 9 entre les éléments de matrice 2, lorsque l'ensemble des éléments de l'enveloppe de protection 3 ont été ainsi mis en place et fixés pour constituer ainsi l'enveloppe de confinement, on met en place des sangles 17 de maintien à l'aplomb desdites entretoises 9 (figure 4B),

- on remplit complètement, par exemple par une extrémité grâce à des orifices 14 réalisés dans un des obturateurs 7, l'espace annulaire compris entre la conduite 1 et l'enveloppe 3 avec ledit matériau 4 à changement de phase liquéfié et surchauffé au-dessus de sa température de fusion T₀, et ce jusqu'à ce que les éléments de matrice 2 en soient complètement imprégnés. Pour cela, on peut incliner ladite conduite afin de remplir ledit matériau 4 à changement de phase par la partie inférieure de l'espace annulaire tel que représenté sur la figure 4A, ce qui permet de chasser l'air par des événements 15 disposés dans l'obturateur opposé 7 à celui permettant le remplissage (il peut être effectué également le vide avant ledit remplissage) ;

- dans le cas où des entretoises 9 et des sangles 17 de maintien ont été préalablement disposées, on remplit l'espace annulaire avec ledit matériau liquéfié 4 sous pression pour déformer l'enveloppe extérieure 3 entre lesdites sangles 17; la déformée recherchée correspondant à l'augmentation de volume, ou survolume, engendrée par la dilatation thermique du matériau 4 liquide à la température de remplissage, comme représenté sur la figure 4B, et par rapport à son volume à l'état solide

- on refroidit l'ensemble, et après refroidissement et solidification du matériau 4, celui ci reprend sensiblement son volume initial : si le

remplissage a été effectué sous pression comme indiqué précédemment l'enveloppe extérieure sera alors sensiblement droite comme indiqué sur la figure 4C, ce qui permettra éventuellement d'enlever lesdites sangles 17 ;

Les corps des obturateurs 7 sont fermés, et ceux des entretoises 9
5 sont de préférence ajourées pour permettre le remplissage du matériau à changement de phase ; ces obturateurs et entretoises sont réalisés en matière préférentiellement peu conductrice de la chaleur, non métallique. Comme indiqué sur les figures 2A et 2B, lesdits obturateurs peuvent également comporter une bague intérieure 10 de la même matière de celle
10 de la conduite 1 et une bague extérieure 11 de la même matière que celle du tube extérieur 3 : ces deux bagues éventuelles sont fixées sur le corps de l'obturateur de manière rigide et étanche ; celle fixée sur la conduite 1 peut comporter une collerette 10 d'aide à la manutention.

Les entretoises 9 sont nécessaires dans le cas où la tenue mécanique
15 de la partie rigide 2₂ du matériau à changement de phase ne serait pas suffisante pour supporter la ou les conduites 1 ; de plus de telles entretoises 9 assurent le centrage du ou des faisceaux de conduite dans le tube enveloppe extérieure 3.

Dans le cas d'une conduite assemblée sur site par soudage ou vissage
20 de tronçons élémentaires préalablement isolés les zones de jonction sont alors dépourvues d'isolation et doivent être traitées sur site : on peut ainsi compléter cette isolation dans cette zone en disposant plusieurs blocs d'imprégnation préfabriqués 12 s'ajustant les uns aux autres, autour de la jonction entre tronçons le tout étant immobilisé par surmoulage par une
25 résine thermoplastique ou thermodurcissable 13 tel que représenté sur les figures 5A et 5B.

Exemple 2 : faisceau plat d'au moins deux conduites côte à côte.

La figure 6 est une vue en coupe d'un dispositif d'isolation thermique de deux conduites sous-marines 1 comportant un revêtement isolant 2
30 entourant celles ci et une enveloppe de protection 3 confinant l'ensemble. Ledit revêtement isolant 2 est composé comme à l'exemple 1 et le périmètre 24 de la section transversal de l'ensemble est un cercle ; un fluide quasiment incompressible assure le remplissage intégral de l'enveloppe 3 en

comblant tous les interstices qui pourraient exister entre lesdites demi coquilles et ladite enveloppe 3 ; celle ci pour ne pas subir des contraintes importantes essentiellement dues aux variations de température, comme expliqué précédemment, comporte alors un canal continu 23 sur toute sa longueur et contre sa paroi intérieure pour faciliter les mouvements du fluide quasi incompressible et maintenir l'ensemble en équipression : l'enveloppe 3 possède également soit à ses extrémités soit en de multiples points répartis sur sa longueur des orifices mettant ledit fluide en contact avec l'extérieur soit directement soit indirectement par l'intermédiaire de membrane souple pour éviter le mélange entre l'eau de mer et ledit fluide quasi incompressible.

La figure 7 est une section transversale du dispositif d'isolation thermique du "bundle" selon l'invention dans lequel le périmètre 24 externe de la section transversale est de forme carrée et protège une isolation d'un revêtement isolant 2 composé de paraffine comme décrit à l'exemple 1, de préférence imprégnée dans une matrice absorbante.

La figure 8 est une section d'une variante du dispositif de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est octogonale.

La figure 9 est une section d'une variante du dispositif de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est rectangulaire et de forme aplatie. Sous l'effet des variations de température, l'expansion du revêtement isolant 2 est contenue dans la déformation de l'enveloppe 3 qui prend la forme du profil de la courbe 37.

La figure 10 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est de forme ovale dont le rapport de longueur du grand axe celle du sur petit axe est égal à 3/1.

La figure 11 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est un ovale dont le rapport du grand axe sur le petit axe est égal à 2/1.

La figure 12 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est de forme rectangulaire aplatie dont les petits cotés 28 sont bombés ou arrondis.

La figure 14 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle le périmètre 24 de la section transversale de l'enveloppe 3 comporte des points d'inflexion, donc des contre-courbures 5 concaves augmentant la capacité d'expansion.

5 La figure 14 est une section d'un dispositif d'isolation thermique selon l'invention dont l'enveloppe 3 contient deux conduites 1₁ de production d'effluents pétroliers, une conduite centrale d'injection d'eau 12 ainsi que deux conduites de réchauffage de l'ensemble, la conduite 13 servant par exemple à envoyer un fluide chaud depuis le support de surface,
10 la conduite 14 servant au retour ; une liaison entre les conduites 13 et 14 existant à la seconde extrémité immergée du faisceau de conduites. Ces conduites 1 sont entourées d'un revêtement isolant rempli d'un fluide quasi-incompressible tel que de la paraffine comme décrit à l'exemple 1. Le faisceau de conduites ou "bundle" est équipé sur ses côtés de goulottes 29
15 pouvant recevoir des ombilicaux 20, lesdites goulottes étant représentées simple sur la gauche et double sur la droite de la figure 14.

Le dispositif d'isolation thermique selon l'invention comporte à sa partie inférieure une semelle ou plaque d'usure 11 disposée sur une partie du périmètre 24 externe de la section transversal de l'enveloppe de
20 protection 3, et de préférence au moins suivant un des grands cotés de ladite section transversale permettant alors d'éviter tout endommagement de l'enveloppe 3 de confinement lors de l'opération de remorquage et d'installation sur le site : l'ensemble reposant sur le fond de la mer 22, seule la plaque d'usure 21 frotte contre celui ci.

25 Ladite semelle ou plaque d'usure 21 peut être réalisée en matériau thermoplastique de densité 1 donc ne modifiant pas la flottabilité de l'ensemble lors du remorquage ni même durant la vie du faisceau de conduites sur le site.

La figure 15 est une section d'un "bundle" dont l'enveloppe 3 de
30 protection comporte une partie inférieure 3₁ en forme de "U" ouvert vers le haut en position opérationnelle, dans lequel sont disposées lesdites conduites 1, le revêtement isolant 2 et le fluide incompressible 4, ladite partie inférieure 3₁ étant fermée par un couvercle 34 assemblé sur celle ci

pour constituer l'ensemble de l'enveloppe de protection 3 ; celle ci est représentée de forme sensiblement rectangulaire et réalisée par exemple à partir d'une tôle métallique formée et équipée d'un couvercle 34 assemblé par soudage en (25₁, 25₂) sur ladite enveloppe. Le "bundle" contient des conduites 1 et des lignes de réchauffage électriques 26, l'ensemble étant contenu dans un revêtement 2 supporté par des cales 27, disposées dans la partie inférieure de l'enveloppe 3 ; ledit revêtement 2 étant constitué, soit d'une matrice absorbante imprégnée de paraffine, soit de mousse syntactique ou de tout autre produit d'isolation résistant à la pression ; l'espace compris entre l'enveloppe 3 et le revêtement isolant 2 étant rempli de fluide quasiment incompressible 4, tel que de la paraffine, assurant le remplissage intégral du volume interne de l'enveloppe 3 laquelle dans ce mode de réalisation n'épouse donc pas la forme du revêtement isolant 2.

La figure 16 est une variante de la figure 15 dans laquelle l'enveloppe 3 et le couvercle 34 présentent un recouvrement en forme de lèvre 28 située à l'extérieur de la section principale du "bundle" ce qui permet d'effectuer un assemblage,

- soit, comme représenté sur la partie gauche de la figure, par boulonnage ou rivetage à travers des trous 29 régulièrement espacés, associé à la mise en place d'un joint élastomère 30₁ ou encore par simple collage entre les tôles,

- soit encore par soudage continu à la molette dans la zone 30₂ comme représenté sur la partie droite de la figure ; ledit soudage à la molette étant connu de l'homme de l'art dans le domaine de la chaudronnerie, ne sera pas décrit ici.

Ainsi, dans le cas d'assemblage mécanique, de collage ou de la combinaison des deux, l'enveloppe 3 peut être réalisée en tous matériaux tels que des métaux, des thermoplastiques, des thermodurcissables ou encore des matériaux composites.

La figure 17 est une variante de la figure 15 dans laquelle le couvercle est remplacé par une couche 31 de matériau souple tel que thermoplastique, thermodurcissable ou réticulable, par exemple en élastomère, lequel matériau ferme l'ouverture supérieure de la partie

inférieure 3₁ en forme de "U" de l'enveloppe 3 et est coulé en place après installation complète de tous les composants du "bundle", un revêtement isolant 2 comprenant un fluide quasiment incompressible 4, ledit revêtement isolant 2 étant entouré de fluide incompressible de remplissage 5 4 dont le niveau sera alors ajusté de manière à laisser suffisamment de place pour assurer à la couche 3₁ une épaisseur suffisante, par exemple 1 cm, permettant ainsi une adhérence suffisante à la paroi de l'enveloppe 3. La surface de contact est représentée sur la partie droite de la figure sous la forme d'un angle droit 3₂, sur la partie gauche un formage 3₃ en S de la 10 tôle 3 augmente les surfaces de contact ainsi que les zones soumises à cisaillement, lequel cisaillement est en général préférable à l'arrachement dans les collages.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine
(1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant
5 un revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection
(3), caractérisé en ce que ledit revêtement isolant comprend un matériau
quasi incompressible (4) à changement de phase liquide-solide à une
température de fusion T_0 supérieure à celle T_2 du milieu environnant la
conduite en opération et inférieure à celle T_1 des effluents circulant
10 dans ladite conduite, laquelle enveloppe de protection (3) est résistante
et déformable et assure un confinement autour dudit revêtement
isolant.
2. Dispositif d'isolation thermique selon la revendication 1 caractérisé en
ce que ledit revêtement isolant comprend une matrice (2) absorbante
15 entourant ladite conduite (1), de préférence au plus près de sa surface
extérieure, et imprégnée dudit matériau (4).
3. Dispositif d'isolation thermique suivant la revendication 1 ou 2
caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3), s'appuyant sur le
matériau (4) solidifié et rigide au moins à sa périphérie, est apte à
20 supporter le poids de la conduite (1) et les frottements lors de la pose
de celle ci depuis la surface.
4. Dispositif d'isolation thermique selon l'une quelconque des
revendications 1 à 3 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3)
est déformable pour suivre les variations de volume du revêtement
25 isolant qu'elle confine sous l'effet de la pression hydrostatique et lors
des variations de température.
5. Dispositif d'isolation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4
caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte au moins
un évent perméable au gaz pouvant diffuser à travers ladite conduite
30 sous-marine (1) et généré par les effluents qui y circulent.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5 caractérisé
en ce que la matrice (2) est constituée d'un matériau léger cellulaire ou

fibreux et ledit matériau quasi-incompressible (4) qui l'imprègne a une température de fusion (T_0) comprise entre 20 et 80°C.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que ledit matériau (4) a une conductivité thermique inférieure à 0,3 Watt/mètre/degré Celsius en phase solide et une enthalpie de fusion supérieure à 50 kilojoule/kilogramme.
8. Dispositif d'isolation selon l'une quelconque des revendications 2 à 7 caractérisé en ce que ladite matrice (2) n'occupe qu'une partie du volume de l'espace annulaire délimitée par ladite enveloppe de protection (3) et ladite conduite (1).
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 caractérisé en ce qu'il comporte des entretoises (9) régulièrement espacées le long de la conduite (1) sur laquelle elles s'appuient et supportant l'enveloppe de protection (3).
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) est en matériau thermoplastique.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ledit matériau (4) quasi-incompressible est constitué, à au moins 90 %, de composés chimiques de la famille des alcanes, de préférence une paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 10 atomes de carbone.
12. Dispositif selon la revendication 11 caractérisé en ce que ledit matériau quasi-incompressible (4) comprend une paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 14 atomes de carbone.
13. Dispositif d'isolation thermique selon l'une des revendication 1 à 12 caractérisé en ce que le périmètre (24) externe de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est une courbe fermée dont le rapport du carré de la longueur sur la surface qu'elle délimite est au moins égal à 13.
14. Dispositif selon la revendication 12 caractérisé en ce que la forme extérieure de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est un ovale.

- 15 Dispositif suivant la revendication 14 caractérisé en ce que le rapport de longueur du grand axe sur celle du petit axe de l'ovale est au moins de 2.
- 5 16. Dispositif selon la revendication 13 caractérisé en ce que la forme extérieure de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est un rectangle.
- 10 17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 16 caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux conduites (1) disposées suivant un même plan et la section transversale de ladite enveloppe (3) est de forme allongée dans la même direction que ce plan.
18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 16 caractérisé en ce que le périmètre (24) de la section transversale de ladite enveloppe (3) comporte des contre courbures concaves (35).
- 15 19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 18 caractérisé en ce qu'il comporte une plaque d'usure (21) disposée sur une partie dudit périmètre (24) extérieur de l'enveloppe (3).
- 20 20. Dispositif suivant la revendication 19 et selon l'une quelconque des revendications 14 à 17 caractérisé en ce que ladite plaque d'usure (21) est disposée suivant l'un des grands cotés de la section transversale de ladite enveloppe (3).
21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 20 caractérisé en ce que le rapport du carré de la longueur du périmètre (24) extérieur de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) sur la surface que délimite ledit périmètre est au moins égale à 16.
- 25 22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 21 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte une partie inférieure (3₁) en forme de "U" dans lequel sont disposées lesdites conduites (1) et un couvercle (34) assemblés sur cette enveloppe (3).
- 30 23. Dispositif suivant la revendication 22 caractérisé en ce que ledit couvercle (34) est soudé à la molette.
24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 23 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte une partie inférieure (3₁) en forme de "U" dans laquelle sont disposées lesdites conduites (1)

et une ouverture supérieure fermée par une couche (31) de matériau souple coulé après installation de tous les composants internes.

25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 24 caractérisé en ce que l'enveloppe (3) comporte des cales (27) supportant le revêtement isolant (2), l'espace compris entre l'enveloppe (3) et ledit revêtement (2) étant rempli d'un fluide quasiment incompressible (4).

26. Procédé d'isolation thermique d'au moins une conduite sous marine (1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, utilisant un revêtement isolant entourant celle ci et une enveloppe de protection (3), caractérisé en ce que :

- on entoure ladite conduite (1), de préférence directement avec un revêtement isolant (2) comprenant un matériau quasi incompressible (4) et à changement de phase liquide-solide à une température de fusion (T_0) donnée, ledit matériau quasi-incompressible étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante, et on confine l'ensemble dans l'enveloppe de protection (3) qui doit être résistante et déformable,
- on fait circuler dans ladite conduite (1) des effluents chauds (6) à une température T_1 supérieure à la température de fusion T_0 dudit matériau (4) alors que la température T_2 ambiante extérieure est inférieure à T_0 , le matériau à changement de phase (4) étant alors liquide, de préférence dans une partie de la matrice d'imprégnation (21) depuis la conduite (1) jusqu'à une limite d'équilibre (19) d'échange thermique entre la conduite (1) et l'enveloppe (3), au-delà de cette limite (19) le matériau étant solide,
- quand on arrête la circulation des effluents (6) dans la conduite (1) on maintient la température de ces effluents (6) au-dessus d'une température T_3 donnée pendant une durée prédéterminée grâce au transfert calorifique apporté par la chaleur latente dudit matériau (4) dont la partie liquide (41) se solidifie progressivement en se refroidissant.

27. Procédé d'isolation thermique suivant la revendication 26 caractérisé en ce que :

- on fixe un obturateur d'une manière continue et étanche un obturateur (7₂) à l'extrémité de la paroi extérieure de conduite (1) à isoler;
 - on monte sur cette partie de conduite (1) des éléments de la matrice (2) absorbante qui entourent celle-ci complètement et uniformément,
 - 5 - on enfle autour de ces éléments de matrice (2) l'enveloppe extérieure de protection (3) que l'on solidarise à son extrémité à l'obturateur (7₂)
 - on positionne à l'autre extrémité de l'enveloppe de protection (3) un deuxième obturateur (7₁) que l'on fixe sur cette enveloppe et sur la conduite (1),
 - 10 - on remplit complètement, par une extrémité, l'espace annulaire compris entre la conduite (1) et l'enveloppe (3) avec ledit matériau (4) à changement de phase, liquéfié et surchauffé au-dessus de sa température de fusion T₀ et jusqu'à ce que les éléments de matrice (2) en soient complètement imprégnés,
 - 15 - on refroidit l'ensemble.
28. Procédé d'isolation thermique suivant la revendication 27 caractérisé en ce que :
- on intercale entre des éléments de matrice (2) absorbante des entretoises (9) régulièrement espacées le long de la conduite (1) sur laquelle elles s'appuient,
 - 20 - lorsque l'ensemble des éléments de l'enveloppe de protection (3) ont été mis en place et fixés pour constituer l'enveloppe de confinement, on met en place des sangles (17) de maintien à l'aplomb desdites entretoises (9),
 - 25 - on remplit alors l'espace annulaire avec ledit matériau liquéfié (4) sous pression pour déformer l'enveloppe extérieure (3) entre lesdites sangles (17), laquelle déformation correspondant à l'augmentation de volume engendrée par la dilatation thermique du matériau (4) liquide à la température de remplissage.

30

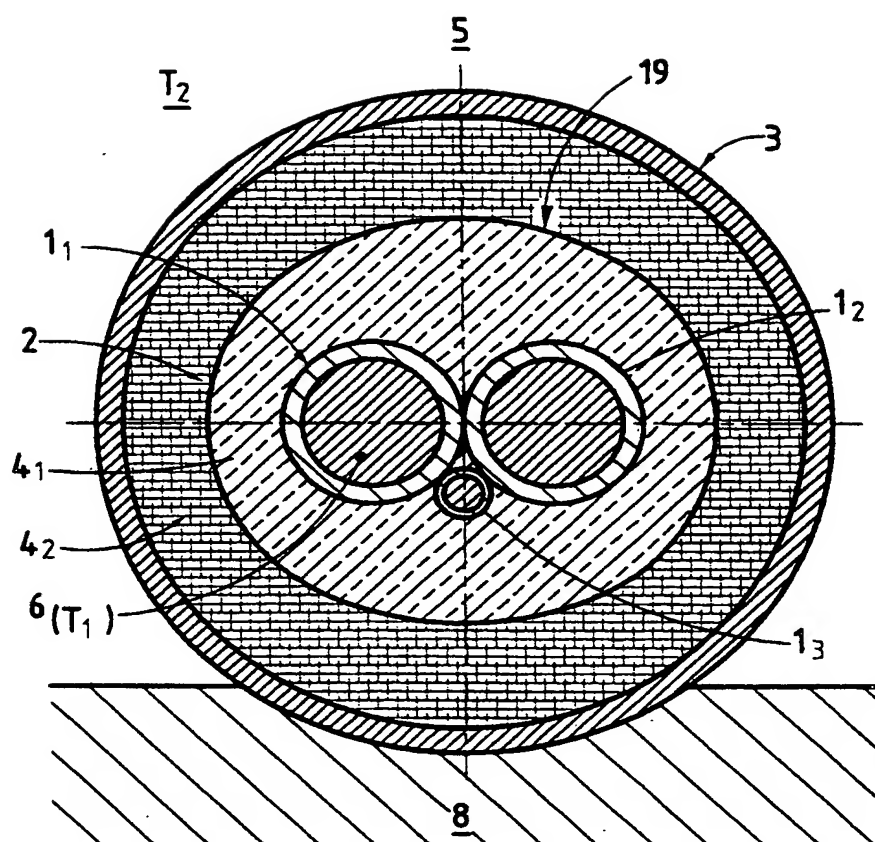


FIG.1

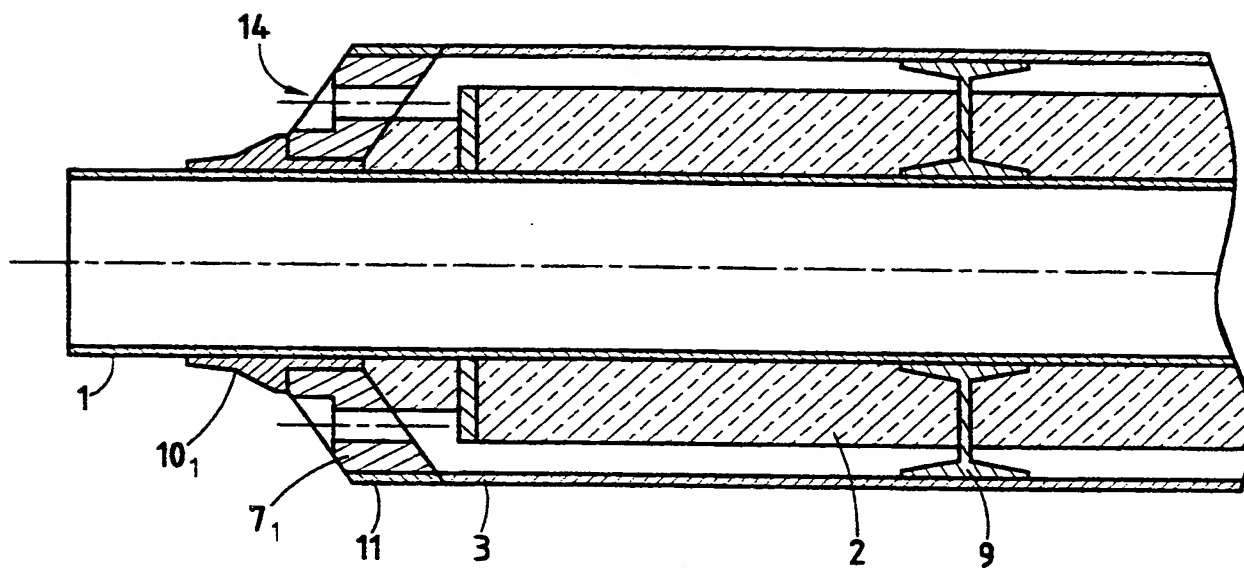


FIG. 2A

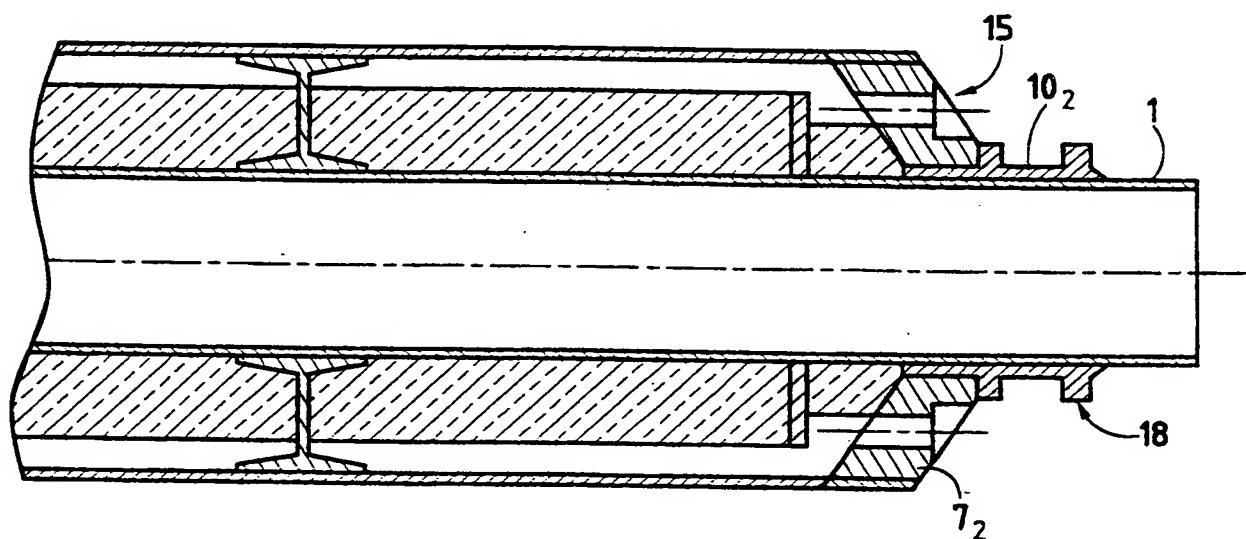


FIG. 2B



FIG. 3A

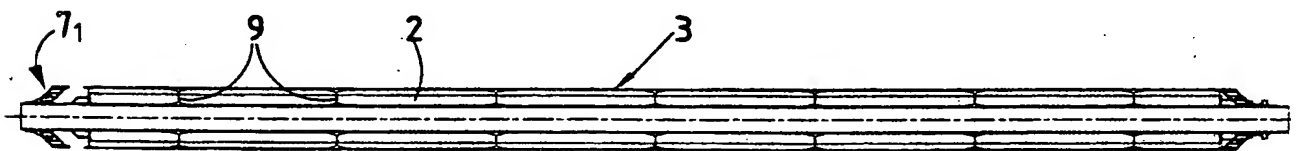


FIG. 3B

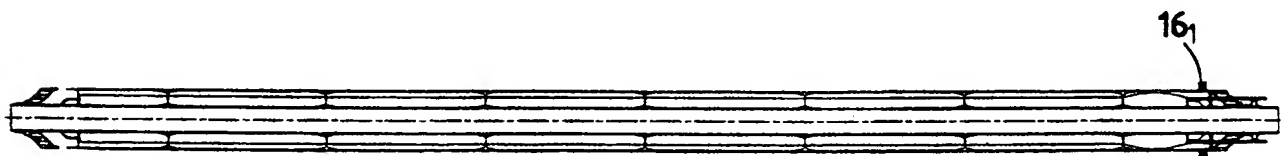


FIG. 3C

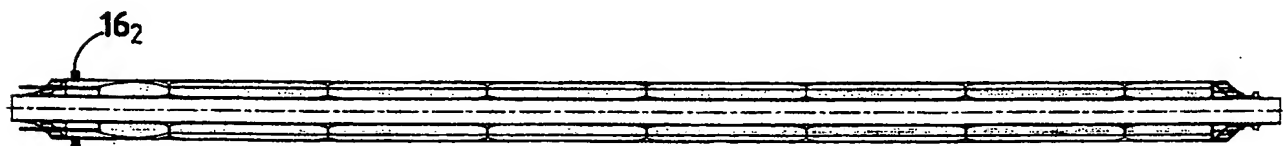


FIG. 3D

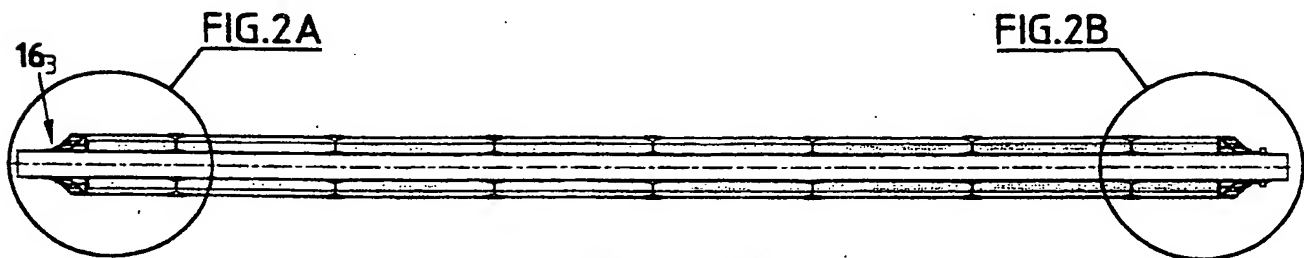
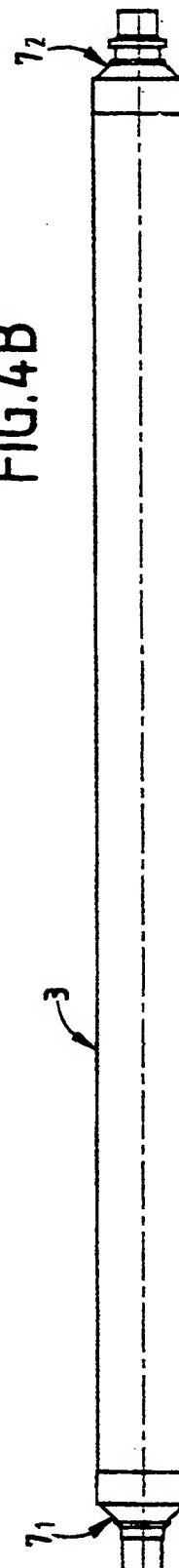
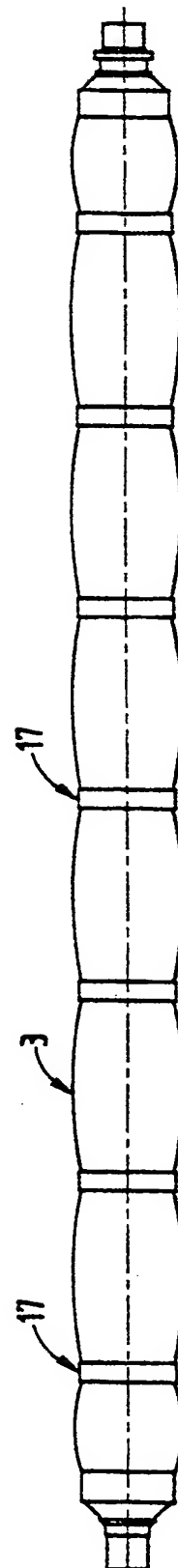
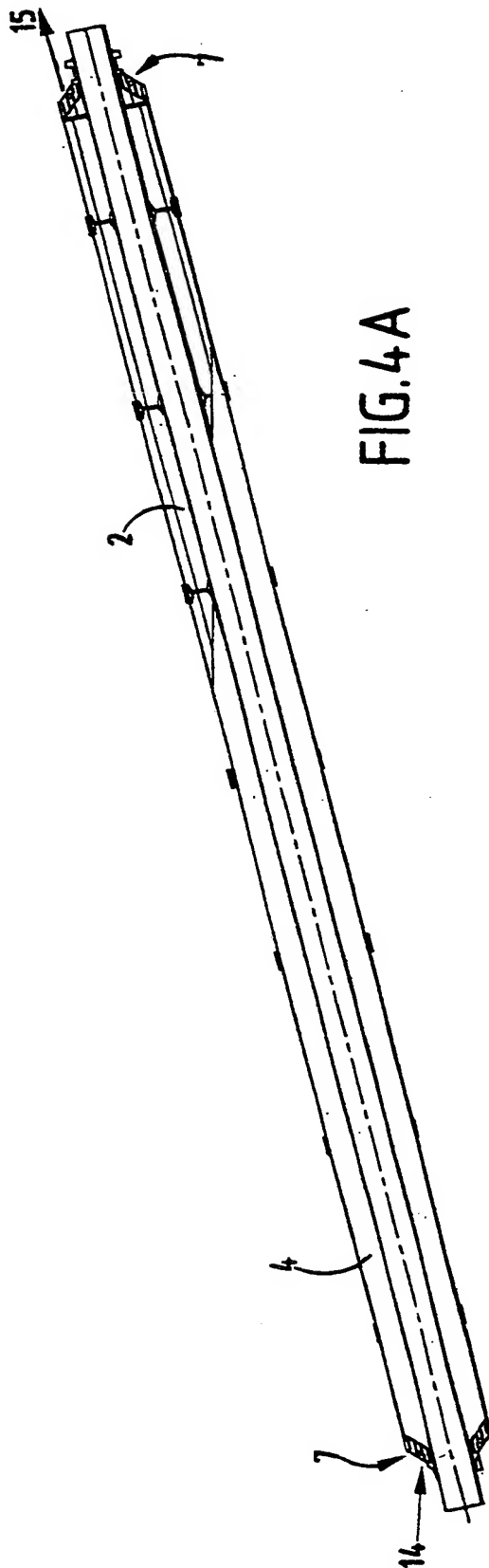
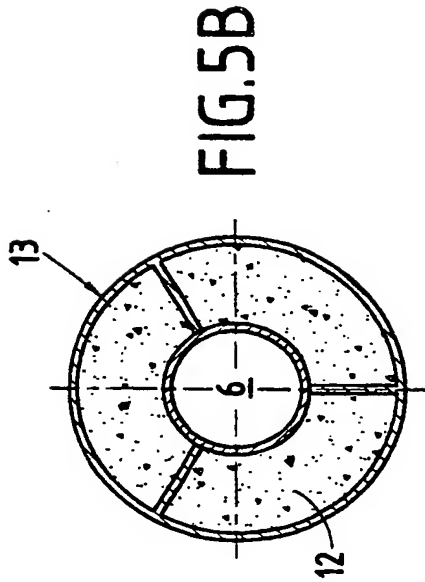
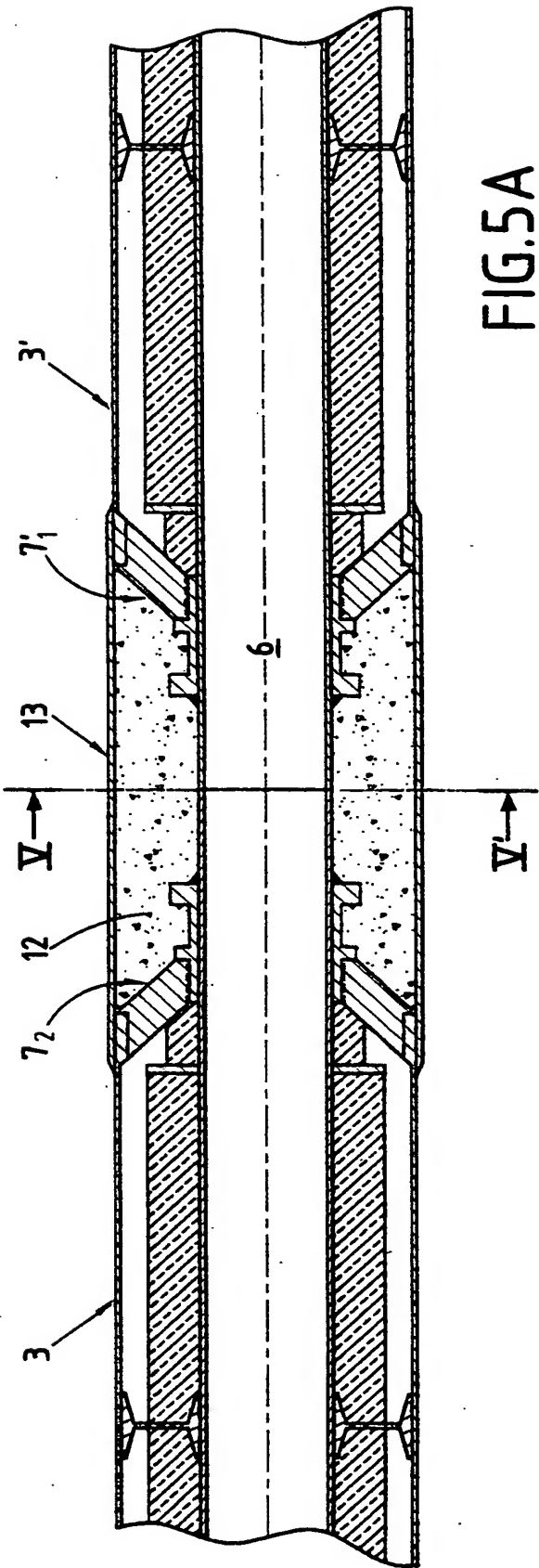


FIG. 3E





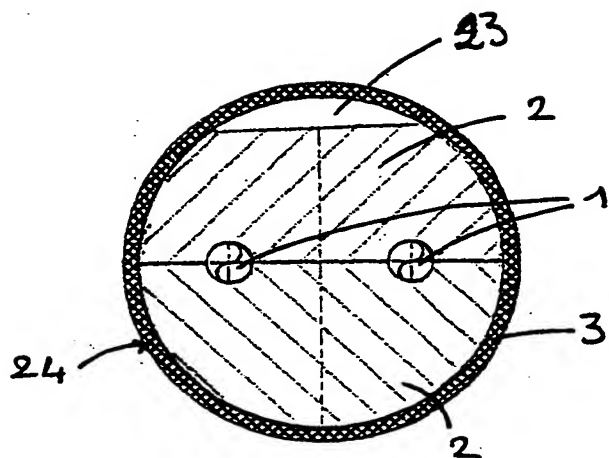


FIG. 6

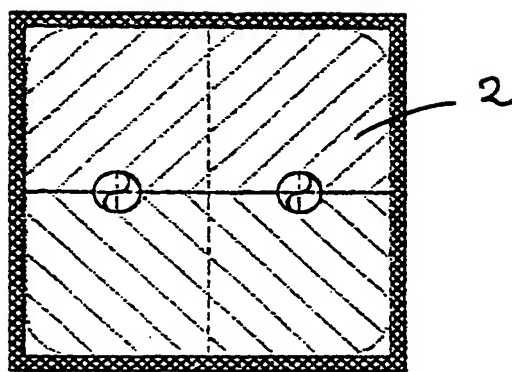


FIG. 7

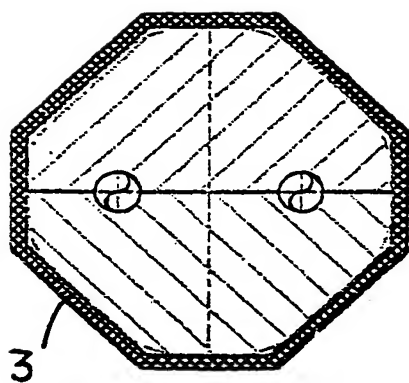


FIG. 8

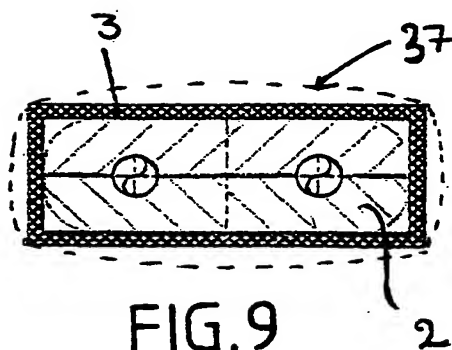


FIG. 9

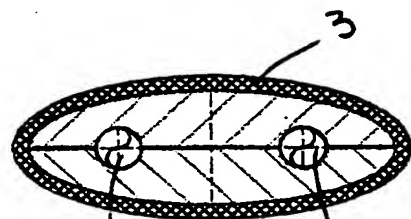


FIG. 10

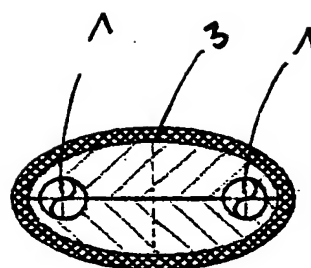


FIG. 11

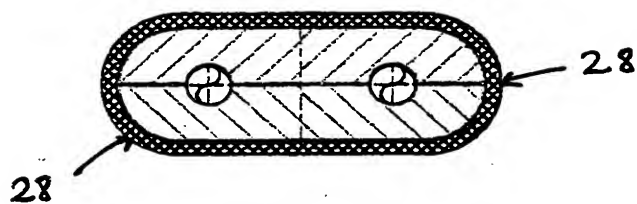


FIG. 12

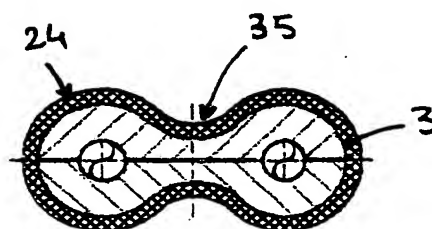


FIG. 13

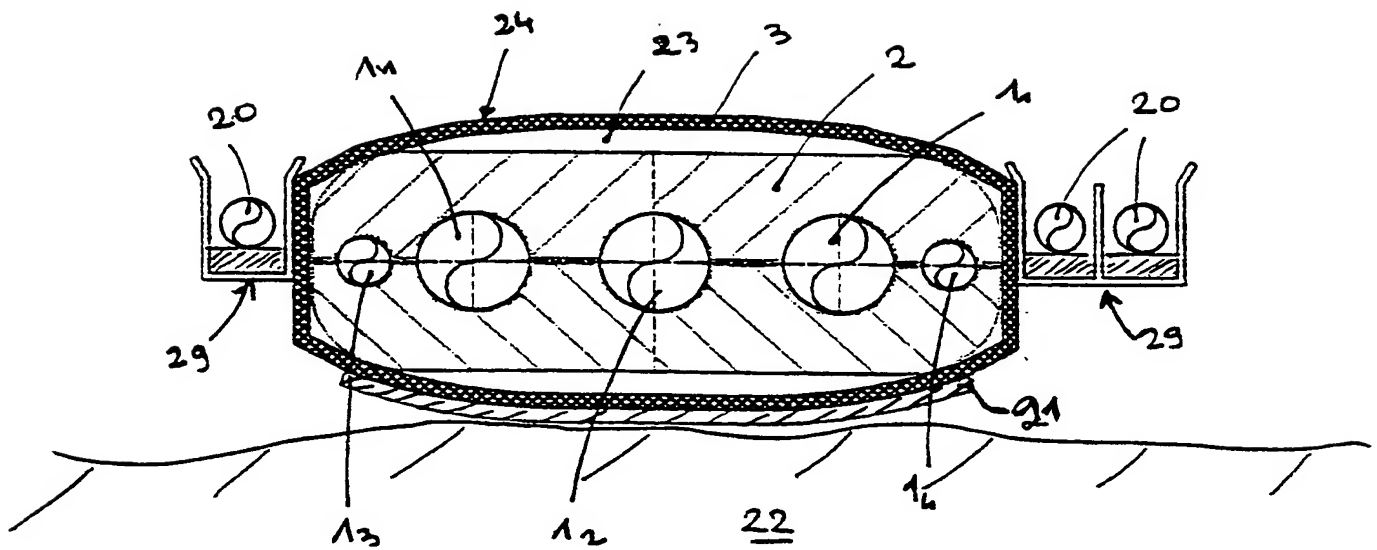


FIG. 14

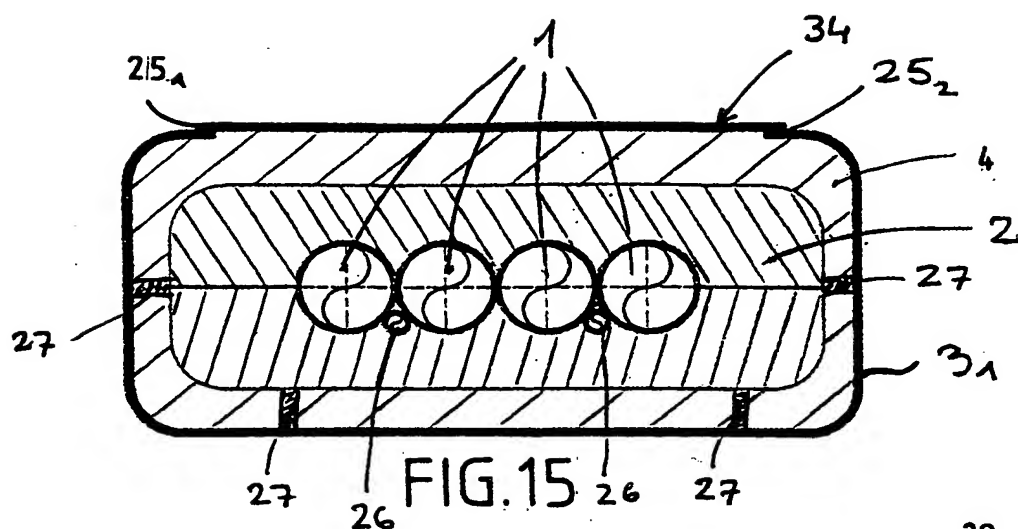


FIG. 15

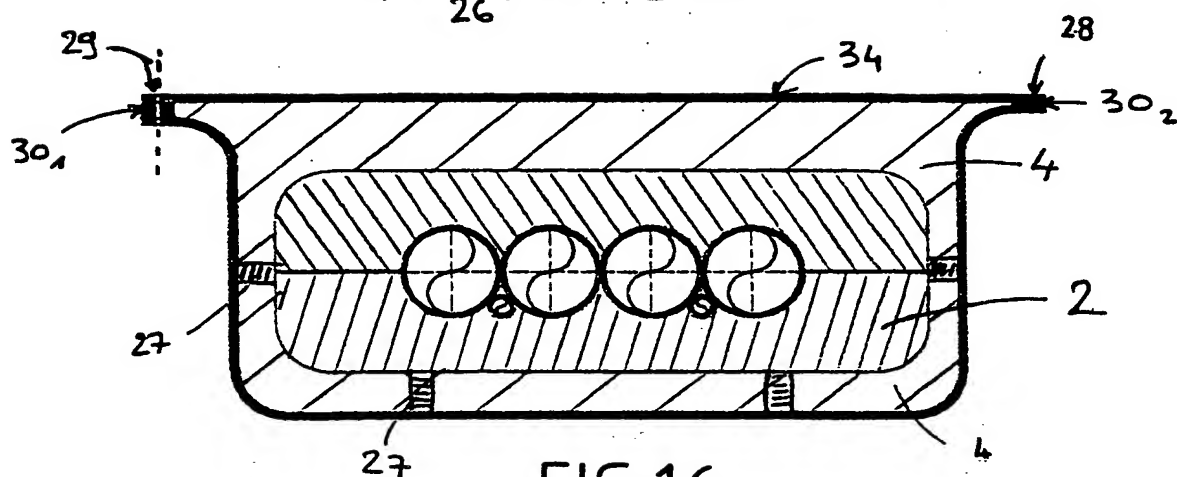


FIG. 1.6

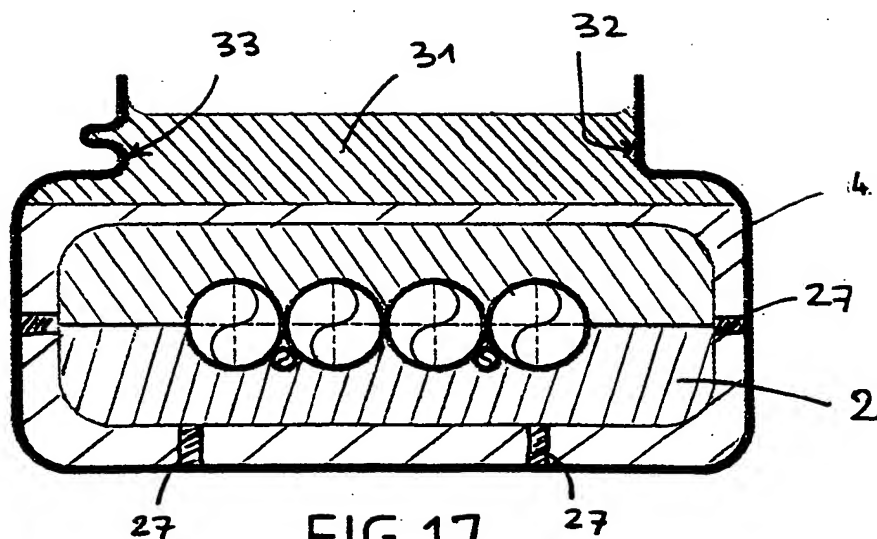


FIG.17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 99/03322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F16L53/00 F16L59/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F16L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 281 373 A (T & N TECHNOLOGY LTD) 1 March 1995 (1995-03-01) the whole document	1-4, 6-8, 10, 26
A	US 3 768 547 A (BEST J) 30 October 1973 (1973-10-30) column 1, line 14 - line 16 column 3, line 36 - line 38 column 3, line 57 - line 66 column 4, line 27 - line 30 column 4, line 43 - line 55 column 5, line 4 - line 7 figure 3	1, 2, 8, 26

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 April 2000

Date of mailing of the international search report

12/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Brosio, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.

PCT/FR 99/03322

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>FR 2 400 088 A (CENTRE SCIENT TECH BATIMENT) 9 March 1979 (1979-03-09) page 3, line 31 - line 32 page 3, line 12 - line 16 claim 4; figures 2,4</p>	<p>1,2,11, 12</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/03322

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2281373	A	01-03-1995	NONE	
US 3768547	A	30-10-1973	CA 1011566 A	07-06-1977
			CA 1025782 A	07-02-1978
			NO 136214 B	25-04-1977
			US 3948313 A	06-04-1976
			US 3990502 A	09-11-1976
FR 2400088	A	09-03-1979	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Do  **PCT/FR 99/03322**

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 F16L53/00 F16L59/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A FORTE

Documentation minimale consultée (système de classification ainsi que symboles de classement)
CIB 7 F16L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 2 281 373 A (T & N TECHNOLOGY LTD) 1 mars 1995 (1995-03-01) le document en entier	1-4, 6-8, 10, 26
A	US 3 768 547 A (BEST J) 30 octobre 1973 (1973-10-30) colonne 1, ligne 14 - ligne 16 colonne 3, ligne 36 - ligne 38 colonne 3, ligne 57 - ligne 66 colonne 4, ligne 27 - ligne 30 colonne 4, ligne 43 - ligne 55 colonne 5, ligne 4 - ligne 7 figure 3	1, 2, 8, 26

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document décrivant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tout autre moyen
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 avril 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/04/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Paternaan 2
NL - 2260 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo rd,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Brosio, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Donnée Internationale No
PCT/FR 99/03322

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>FR 2 400 088 A (CENTRE SCIENT TECH BATIMENT) 9 mars 1979 (1979-03-09) page 3, ligne 31 - ligne 32 page 3, ligne 12 - ligne 16 revendication 4; figures 2,4 _____</p>	<p>1,2,11, 12</p>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux numéros de familles de brevets

Descriptive internationale No

PCT/FR 99/03322

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2281373	A	01-03-1995	AUCUN	
US 3768547	A	30-10-1973	CA 1011566 A	07-06-1977
			CA 1025782 A	07-02-1978
			NO 136214 B	25-04-1977
			US 3948313 A	06-04-1976
			US 3990502 A	09-11-1976
FR 2400088	A	09-03-1979	AUCUN	

THIS PAGE BLANK (USPTO)